

**PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS AMBIENTALES MEDIANTE ANÁLISIS DE  
CONSENSO EN DECISIÓN MULTICRITERIO DISCRETA.  
CASO DE ESTUDIO PRODUCCIÓN DE CEMENTO EN SUESCA.**

**RICARDO ANDRÉS MARTÍN MAYORGA**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C.  
MARZO DE 2017**

**PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS AMBIENTALES MEDIANTE ANÁLISIS DE  
CONSENSO EN DECISIÓN MULTICRITERIO DISCRETA.  
CASO DE ESTUDIO PRODUCCIÓN DE CEMENTO EN SUESCA.**

**RICARDO ANDRÉS MARTÍN MAYORGA**

**TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA  
OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**Director: INGENIERO GERMAN ALBERTO RAMÍREZ VALLES**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
BOGOTÁ D.C.  
MARZO DE 2017**

Nota De Aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá D.C. marzo de 2017

**Dedicatoria a la vida.**

Mantener fija la mirada en un punto específico,  
para luego ampliar todas las perspectivas.

Adueñarse de las responsabilidades y,  
ser libre en la toma de decisiones.

Asumiendo el resultado de,  
pérdidas y ganancias.

Ricardo Andrés Martín Mayorga.

## **AGRADECIMIENTOS**

Ciertos desarrollos de la vida no son sencillos y más si estas solo en ello, es por esto, que esos caminos que se recorren siempre es mejor vivirlos junto a alguien, junto a la familia, y dado esto, no es que tanto lejos llegues sino a cuantas personas ayudaste a cumplir sus metas.

Las personas que aquí hago mención son aquellas que gracias a sus sacrificios me generaron el estímulo de continuar para cumplir esta meta, y aquellas otras que optaron por brindarme su apoyo desinteresado y compañía.

Mi mama quien, gracias a sus consejos, compañía y apoyo en muchos factores, fueron fundamentales para llegar hasta este escalón, y que a hoy no tengo palabras suficientes para expresar mi agradecimiento.

A mi papa por darme su apoyo y acompañamiento en este proceso del cual tuve grandes aprendizajes de su parte.

Mi hijo quien fue el principal foco al cual dirigir todos mis esfuerzos, y a quien le quedo eternamente agradecido por sus sacrificios.

A Jorge Iván Romero Gelvez, quien en calidad de Director ad honorem, dirigió este proyecto ayudándome alcanzar los resultados deseados.

A mi Director de proyecto por brindarme esta oportunidad aprendizaje y acompañamiento, durante este proceso.

Amigos y amigas con quienes compartí grandes momentos y de los cuales aprendí mucho.

Todos aquellos que hoy ya no están, y las nuevas personas que llegaron, gracias por brindarme su compañía.

## TABLA DE CONTENIDO

1.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1.	Objetivo general	12
1.2.	Objetivos específicos	12
1.3.	Hipótesis de investigación	12
2.	ANTECEDENTES	13
2.1.	Antecedentes de problemas relacionados con la minería en la sociedad	13
2.2.	Antecedentes del uso de decisión multicriterio en casos similares	24
2.3.	Impactos ambientales de la minería en Colombia	34
3.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	37
3.1.	Descripción del problema	37
3.2.	Formulación del problema	38
4.	JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	39
4.1.	Justificación	39
4.2.	Delimitación	39
5.	MARCO TEÓRICO	40
5.1.	Marco conceptual	40
5.2.	Conceptos	40
5.3.	Método multicriterio (MCDM)	52
5.4.	Métodos multicriterio Discretos	56
5.4.1.	Normalización	56
5.4.2.	Agregación de vectores propios	61
5.4.3.	Multiplicación de matrices	61
5.4.4.	Suma ponderada	62
5.4.5.	Ponderación de variables	63
5.4.6.	Proceso Analítico Jerárquico (AHP)	68
5.4.7.	Proceso Analítico en Red (ANP)	73
6.	METODOLOGIA	80
6.1.	Diseño metodológico	80
6.2.	Metodología desarrollada	80
6.3.	Análisis de alternativas	82
6.4.	Selección de los criterios de decisión	82
6.5.	Desarrollo metodológico	83
6.6.	Discusión de resultados	92
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
7.1.	Conclusiones	93
7.2.	Recomendaciones	94
	ANEXOS	95
	BIBLIOGRAFIA	98

## CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Crecimiento de la población y del consumo de metales. _____	14
Tabla 2. Aplicación del MCDA en Finlandia. _____	25
Tabla 3. Criterios de aplicación en plantas de tratamiento de residuos. _____	26
Tabla 4. Caracterización de problemas ambientales en Suesca a Priorizar _____	36
Tabla 5. Matriz Xij. _____	57
Tabla 6. Ejemplo normalización por la suma. _____	57
Tabla 7. Resultado ejemplo normalización por la suma. _____	58
Tabla 8. Ejemplo normalización por el ideal. _____	58
Tabla 9. Resultado ejemplo normalización por el ideal. _____	59
Tabla 10. Ejemplo normalización por el rango. _____	59
Tabla 11. Resultado ejemplo normalización por el rango. _____	60
Tabla 12. Proporcionalidad ejemplo. _____	60
Tabla 13. Ejemplo Agregación. _____	61
Tabla 14. Resultado ejemplo multiplicación de matrices. _____	61
Tabla 15. Ejemplo suma ponderada. _____	62
Tabla 16. Resultado ejemplo suma ponderada. _____	63
Tabla 17. Ejemplo ponderación de variables CRITIC. _____	64
Tabla 18. Resultado ponderación de variables CRITIC. _____	64
Tabla 19. Ponderaciones normalizadas. _____	65
Tabla 20. Datos normalizados ejemplo ENTROPIA. _____	66
Tabla 21. Resultado del cálculo del logaritmo de la tabla 20. _____	66
Tabla 22. Producto de $a_{ij} \cdot \log a_{ij}$ _____	66
Tabla 23. Entropía y diversidad _____	67
Tabla 24. Ejemplo ordenación simple. _____	67
Tabla 25. Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980). _____	69
Tabla 26. Valores de la consistencia aleatoria. _____	71
Tabla 27. Porcentajes máximos ratio de consistencia. _____	71
Tabla 28. Matriz pareada. _____	71
Tabla 29. Normalización y suma de filas. _____	72
Tabla 30. Multiplicación de matrices. _____	72
Tabla 31. Vector propio. _____	73
Tabla 32. Matriz interfactorial. _____	75
Tabla 33. Influencia de e12 y e13 sobre e11 _____	76
Tabla 34. Influencia de e11 y e13 sobre e12 _____	76
Tabla 35. Matriz influencia C1. _____	76
Tabla 36. Influencia C2. _____	77
Tabla 37. Matriz influencia original. _____	77
Tabla 38. Matriz comparación C1 y C2 sobre los elementos C1. _____	78
Tabla 39. Producto ponderación por elementos clusters. _____	78
Tabla 40. Resultado del producto. _____	78
Tabla 41. Supermatriz limite. _____	79
Tabla 42 Resultado de la priorización de problemas ambientales del caso de estudio	88

## CONTENIDO DE IMÁGENES

Imagen 1. Problemas ambientales de la minería en la sociedad _____	15
Imagen 2. Alternativas y criterios. Caso rio Cochecho. _____	27
Imagen 3. Alternativas y criterios. Caso New york. _____	27
Imagen 4. Jerarquía de la Evaluación del Impacto Ambiental (caso aeropuerto). ____	29
Imagen 5. Selección de problemas jerárquico energías verdes. _____	31
Imagen 6. Distribución de MCDA por métodos y aplicaciones. _____	32
Imagen 7. Crecimiento de las aplicaciones en el campo ambiental. _____	33
Imagen 8. Criterio y Alternativas. _____	53
Imagen 9. Decisión multicriterio. _____	54
Imagen 10. Fases para la toma de decisiones. _____	55
Imagen 11. Jerarquía Modelo AHP. _____	68
Imagen 12. Relaciones AHP y ANP. _____	74
Imagen 13. Red de ANP. _____	74
Imagen 14. Proceso de Toma de decisiones _____	80
Imagen 15. Esquema general de solución _____	81
Imagen 16. Propuesta metodológica para resolución del problema de priorización de problemas ambientales. _____	81
Imagen 17. Esquema de los problemas a priorizar. _____	84
Imagen 18. Modelo establecido por medio de Super Decisions. _____	84
Imagen 19. Esquema análisis de sensibilidad _____	89



## CONTENIDO DE GRAFICOS

Grafico 1. Trayectoria de las luchas sociales asociadas a extracción de carbón, oro y petróleo en Colombia, 2001-2011. _____	23
Grafico 2. Resultados del grafico Barchart del Decisor 1. _____	85
Grafico 3. Diagrama de red Decisor 1. _____	85
Grafico 4. Resultados del grafico Barchart del Decisor 2. _____	86
Grafico 5. Diagrama de red Decisor 2. _____	86
Grafico 6. Resultados del grafico Barchart del Decisor 3. _____	87
Grafico 7. Diagrama de red Decisor 3. _____	88
Grafico 8. Análisis de sensibilidad alternativa contaminación del aire Barchart. _____	90
Grafico 9. Diagrama de red análisis de sensibilidad contaminación del aire. _____	90
Grafico 10. Análisis de sensibilidad criterio fuentes de emisión atmosférica Barchart. _____	91
Grafico 11. Diagrama de red análisis de sensibilidad fuentes de emisión atmosférica. _____	91

## INTRODUCCIÓN

La minería lleva en el mundo un largo periodo de tiempo presente entre la humanidad, y dentro de su historia se puede abarcar desde épocas prehistóricas -a lo que se hace referencia como la edad de piedra- hasta nuestra era, en la que homínidos “HOMO HABILIS” elaboraban herramientas principalmente compuestas por basalto, sílice amorfa, y cuarzo cristalino, herramientas que posteriormente fueron adquiriendo nuevas características a medida que la humanidad avanzaba en la historia.

Durante la evolución de la humanidad no se contaba con la disposición de materiales cuyas propiedades eran las mejores para sus necesidades, y en muchos casos estos eran limitados en su hábitat, lo cual obligaba a recorrer determinadas distancias y realizar búsquedas cada vez más exhaustivas. Así mismo, sus necesidades se iban incrementando rápidamente, obligando a que sus herramientas fueran más elaboradas, y que pudieran ser de fácil manipulación. Es así como se tienen registros de lo que podrían ser los primeros indicios de minería en el mundo, con pozos de hasta 15 metros de profundidad y con una antigüedad aproximada de entre 8.000 y 5.000 años.

Es claro que el desarrollo de la minería lleva una amplia cantidad de tiempo y un sin número de eventos presentes en la historia -entre los sumerios, egipcios, romanos- que son considerados como precursores de la minería, sin embargo, es correcto afirmar que estas excavaciones no tuvieron repercusiones negativas en los sectores sociales, culturales y en el medio ambiente, y que no fue sino hasta nuestra era actual que esta situación cambio, con la llegada de la revolución industrial, el requerimiento de minerales creció de una manera considerable en todo el mundo, de forma descontrolada y sin una regulación clara que permitiera mantener de forma sostenible los recursos naturales no renovables.

Es debido al crecimiento no controlado de forma eficiente de la minería que las consecuencias de esta se ven en diferentes regiones del mundo, lo cual genera una amplia preocupación entre las comunidades que se ven afectadas, generando principalmente daños a la salud, y el medio ambiente. Y aun cuando este sector económico es sin lugar a dudas uno de los de mayor poder adquisitivo a nivel industrial en los países, cuenta con determinadas organizaciones y comunidades que se oponen a esta práctica, asegurando que muchas de estas extracciones de minerales se dan en lugares ambientalmente ricos en fauna y flora, afectando el

recurso hídrico, aire y suelo, y que una vez se ven afectados, se requieren importantes esfuerzos e inversión los cuales no garantizan una recuperación total de los impactos.

Lo anterior genera una amplia discusión de cada una de las partes interesadas, llegando a una dualidad entre la protección del medio ambiente, y el desarrollo económico de la industria y del país, lo que genera un ambiente de incertidumbre.

Es aquí cuando los métodos multicriterio cobran participación frente al proceso de la toma de decisiones basado en el análisis de datos. Lo cual permite generar el cuestionamiento de si se puede llegar a establecer una metodología por medio de MULTI-CRITERIA GROUP DECISION MARKING (MCGDM) que priorice los problemas ambientales tratados en este caso de estudio, a fin de que en futuras aplicaciones estos puedan ser atacados de forma eficiente y priorizada, logrando mejores procesos en el cuidado del medio ambiente por actividades derivadas de la minería, según el análisis de los resultados de los métodos multicriterio definidos.

Este trabajo tiene por objetivo realizar un estudio para la priorización de problemas ambientales en Suesca y cuyos resultados puedan ser potencialmente discutibles para futuras investigaciones.

## **1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Objetivo general**

Priorizar los problemas del caso de estudio mediante la búsqueda de consenso en decisiones grupales multicriterio MCGDM.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar el caso de estudio y definir los problemas a priorizar.
- Establecer que técnicas de MCGDM (Multi Criteria Group Decision Making) son apropiadas para este caso de estudio, así mismo revisar antecedentes de aplicación a casos similares.
- Aplicar las técnicas elegidas para priorizar los problemas.
- Discutir los resultados y proponer investigaciones futuras.

### **1.3. Hipótesis de investigación**

- Es posible definir los problemas a priorizar en el caso de estudio de Suesca.
- Es posible encontrar una técnica, o combinación de técnicas que puedan ser usadas para priorizar problemas ambientales.
- Es posible aplicar técnicas de optimización y de toma de decisiones a problemas de priorización medio ambiental.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Antecedentes de problemas relacionados con la minería en la sociedad

La protección del medio ambiente ha sido objeto de atención de distintas organizaciones mundiales, como lo son; la World Wide Fund for Nature (WWF por sus siglas en inglés), Fondo mundial para la naturaleza, que es la más grande y respetada organización conservacionista independiente del mundo; Greenpeace (del inglés Green: verde y peace: paz), formada para proteger el medio ambiente, servir de activistas contra políticas mundiales con el ambiente y pregonar por la paz en el mundo; National Wildlife Federation (federación nacional de vida silvestre); The world Rainforest Movement (WRM por sus siglas en inglés), Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales), entre otras. (“ONGs protectoras del medio ambiente | MEDIO AMBIENTE Y TECNOLOGIA,” n.d.)

La WWF realizó una investigación de los efectos de la minería<sup>1</sup> en el mundo, dentro de los resultados de su investigación se encuentran lo que podría ser un claro respaldo de los gobiernos hacia la industria minera, *“las corporaciones mineras están haciendo grandes esfuerzos para convencer a la opinión pública de que son “sustentables”. Con ese objetivo en mente, el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, por su sigla en inglés) –representante de varias de las corporaciones más destructivas del mundo– contrató al Instituto Internacional de Medio Ambiente y Desarrollo –que se auto describe como una organización sin fines de lucro– para llevar a cabo “un proyecto independiente de investigación y consulta de dos años con el objetivo de comprender cómo el sector de minería y minerales puede contribuir a la transición mundial hacia un desarrollo sustentable”. El proyecto incluye, claro está, el necesario adjetivo de “sustentable”: el “Proyecto de Minería, Minerales y Desarrollo Sustentable”. El proyecto tenía, por supuesto, un objetivo político y fue parte del lobby de las corporaciones para la inclusión del absurdo concepto de “minería sustentable” en el informe oficial de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sustentable (CMDS). A pesar de la manifiesta oposición expresada por los activistas contrarios a la minería durante el proceso de la CMDS, las corporaciones mineras lograron su objetivo, y la minería fue declarada oficialmente –como por arte de magia– una actividad “sustentable”.* (Carrere, 2004) , esto permite tener un concepto acerca de la realidad de la industria de la minería, bajo una perspectiva crítica y objetiva, y que envuelve a todo el mundo bajo el desarrollo de estas actividades y de cómo se está abriendo paso para ampliar sus operaciones bajo el modelo de desarrollo sustentable.

---

<sup>1</sup> Actividad de explotar las minas, extraer minerales.

Por otra parte, es importante tener claro que la minería es una necesidad para el desarrollo de los países en diferentes niveles -y que hoy otros ocupan esta misma importancia tal como la tecnología, la infraestructura, la agricultura, etc.- pero que a su vez están dejando graves impactos en el medio ambiente; desechos arrojados a fuentes hídricas, efectos negativos en la flora y fauna silvestre, deforestación, contaminación auditiva, contaminación en el aire, daños morfológicos en los terrenos, desplazamiento forzada de especies nativas, erosión<sup>2</sup>, dejando los terrenos en condiciones desfavorables para la vida y en muchos casos no aptos para su uso en nuevas plantaciones de vegetación. La contaminación del aire por material particulado<sup>3</sup> en excavaciones a cielo abierto<sup>4</sup> puede tener repercusiones en grupos locales de personas. Todo lo anterior son impactos que se ven representados a nivel regional, local y urbano. Aun teniendo registro de estos impactos se espera que la minería continúe su crecimiento Tabla1., “*el crecimiento de la demanda de minerales está íntimamente relacionada con el crecimiento económico, con la expansión demográfica y con la mejora de la calidad de vida*” (Ayala et al., 1989).

Tabla 1. Crecimiento de la población y del consumo de metales.

	1870	1970	1983	2000
Población (millones)	1.200	3.632	4.679	6.270
Índice	1	3	3,9	5,2
Hierro y acero (millones de toneladas)	21,3	595,4	664,3	850-950
Índice	1	28	31	42
Cobre (miles de toneladas)	105	6.420	9.115	12.500-14.500
Índice	1	62	87	128
Plomo (miles de toneladas)	286	3.410	5.285	10.300-12.000
Índice	1	12	18	39
Zinc (miles de toneladas)	177	5.465	6.355	10.600-12.000
Índice	1	31	36	64
Aluminio (miles de toneladas)	1	10.257	15.466	36.500-50.000
Índice	1	10.257	15.466	43.000
Molibdeno (miles de toneladas)	—	72	77	150-170

Fuente. Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería.

<sup>2</sup> Erosión: Es la pérdida del mismo suelo, principalmente por factores como las corrientes de agua y de aire, y actividades humanas, en particular en terrenos secos y sin vegetación, además el hielo y otros factores. La erosión del suelo reduce su fertilidad porque provoca la pérdida de minerales y materia orgánica.

<sup>3</sup> Se denomina material particulado: a una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire. El material particulado forma parte de la contaminación del aire. Su composición es muy variada y podemos encontrar, entre sus principales componentes, sulfatos, nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el polvo de minerales, cenizas metálicas y agua. Dichas partículas además producen reacciones químicas en el aire.

<sup>4</sup> Cielo abierto: Este tipo de minería implica el uso de materiales químicos para la separación de los minerales, su forma de operación es la eliminación de la capa de la tierra por medio maquinaria y dinamita, lo que por lo general deja presencia de cráteres en la tierra, en muchas ocasiones se imposibilita el uso de estos terrenos por residuos químicos y erosión de la tierra, a nivel paisajista se puede visualizar como un lugar desértico y sin vida.

De acuerdo al estudio realizado por Carrere Ricardo en Minería impactos sociales y ambientales (Carrere, 2004), el cual presenta una investigación muy profunda de la actividad de la minería y sus impactos negativos en diferentes lugares del mundo (ver **imagen 1**), presenta una recopilación de estos aspectos entre las que se destacan las siguientes regiones:



*Imagen 1. Problemas ambientales de la minería en la sociedad*

- ✓ **África:** Dentro de su principal extracción minera se encuentra el oro, y cuya producción de un solo anillo de 18 quilates que pesa menos de una onza genera como mínimo 20 toneladas de desecho, los cuales en determinadas ocasiones su disposición final no va de acuerdo a la legislación ambiental aplicable de la región. Se informa que en ocasiones estas actividades de extracción se desarrollan en sitios considerados patrimonios de la humanidad, como es el caso de la reserva de Vida silvestres de Okapi en la República Democrática del Congo, el parque nacional Tai en Costa de Marfil, en otros lugares como Kenia, se cuenta con extracción de titanio a cielo abierto la cual cuenta con diferentes opositores tanto del gobierno, científicos y universidades.

De acuerdo a la Comisión Ghanesa de Derechos Humanos y Justicia Administrativa de Ghana, entre 1990 y 1998, más de 300.000 pobladores fueron desplazados en Tarkwa por las operaciones de extracción de oro y de la producción de madera, y que desafortunadamente las explotaciones coinciden con reservas forestales. La principal

extracción en la región de Ghana es el oro, diamantes bauxita y magnesio, las cuales han venido dejando paso a la deforestación y degradación de los bosques, generando impactos sociales y ambientales, incluso representando un alto riesgo para el bosque de Ghana o al menos los vestigios que quedan de él -estadísticas ambientales mencionan que la minería ha tenido un efecto perjudicial al menos en un tercio de los bosques tropicales del país- por lo cual se está promoviendo una amenaza a la rica biodiversidad de los bosques tropicales húmedos, *“La eliminación de la cubierta boscosa está provocando el rápido desecamiento de los recursos de agua, a la vez que la extinción de las especies animales y vegetales que allí habitan”* (Carrere, 2004), afirma la investigación.

Entre los casos más preocupantes se encuentra la región del Congo, en donde la extracción de materias primas que hacen parte de la producción de teléfonos celulares, está dejando devastación en los bosques y cerca de 3,5 millones de muertos desde 1998, todo esto debido a dos minerales en extracción -el columbio y tantalio conocido más propiamente como “coltan”- usados en los microchips de las baterías de los celulares, y aun cuando su explotación se encuentra en diferentes países del mundo en África se cuenta con un 80% de las reservas mundiales, y el Congo concentra un 80% de los yacimientos. Las principales zonas de extracción se encuentran en bosques, como el bosque de Ituri, en donde habitan especies nativas como elefantes y monos, y a su vez funciona como un lugar de reserva de gorilas y okapis, adicional según el investigador Kofi Akosah-Sarpong *“existen evidencias de contaminación de este material mineral que señalan su conexión con deformaciones congénitas de bebés de la zona minera, que nacen con las piernas torcidas”*. (Carrere, 2004)

Otras regiones de África en que se pueden ver vestigios de los impactos negativos de la minería son; Senegal, Sudáfrica dejando graves daños en los bosques, Tanzania con repercusiones en el Lago Victoria y pérdida de la biodiversidad, Madagascar dejando pobreza a su paso, haciendo mención de algunos.

- ✓ La empresa Rio Minerales, que opera realizando minería a cielo abierto en Bellavista de Miramar (Costa Rica), ha dejado cráteres gigantes que se extienden a 150 hectáreas de diámetro y 500 metros de profundidad, con consecuencias que van desde la producción de grandes cantidades de desechos sólidos y líquidos, impactos sobre poblaciones aledañas, cambios en el entorno paisajista hasta cambio en la morfología del terreno. Determinadas comunidades han truncado la extracción de minerales lo cual, y de cierta manera ha dado una mayor regulación a las empresas mineras por parte del gobierno, pero pese a todos estos esfuerzos



continúan las extracciones tal como lo es en el Golfo de Nicoya que pone en riesgo el agua potable de la región. El comité de oposición a la minería de oro ha realizado la denuncia de numerosos y devastadores impactos de la minería, por empresas como Glencaim “compañía canadiense” en la que utiliza métodos de lixiviación<sup>5</sup>, sin que se hayan tomado las medidas necesarias para su control.

- ✓ En Honduras se encuentra la empresa Entre Mares la cual realiza extracción de Oro, en el área de San Ignacio y que según habitantes -predomina el color rojizo, ya no se encuentran árboles, ni la montaña que antes existía- es claro que esta empresa dejó importantes impactos ambientales, y esto sin contar con los efectos en las especies, fuentes hídricas, afectaciones a la salud, y daños al suelo.
- ✓ De acuerdo con la publicación de Duarte (Duarte, 2009), en la comunidad de Vesubio (Nicaragua), en la que operaron empresas trasnacionales dejaron problemas ambientales relacionados con el clima, la calidad del agua por sustancias como el cianuro, plomo, zinc, y azufre, cuyos efectos están la intoxicación e inhibición de la micro fauna. Las actividades mineras durante su operación contribuyeron a la reducción de la cobertura forestal, pérdida de vegetación y erosión.
- ✓ Birmania es conocido por sus piedras preciosas, rubíes, zafiros y jade, el estado de Shan cuenta con una historia de 800 años en la extracción de estos minerales, es a partir de 1989 que las operaciones han tenido un significativo cambio por procesos de extracción entre los que se encuentran los medios hidráulicos, este proceso funciona por medio de bombas diésel que arrojan chorros de agua presurizada ocasionando el desprendimiento de roca y tierra, el material es transportado y recubierto de mercurio líquido que capta las partículas de oro las cuales son separadas de los demás materiales. La mezcla de desechos es altamente venenosa tanto para animales como para las personas, y aun cuando no se tienen evidencias que sean arrojadas actualmente a los ríos, si se sabe que al menos dos empresas del lugar utilizan el mercurio en sus procesos de extracción. Entre los daños ambientales más representativos se tiene el colapso de los lechos de los ríos, aumento de los niveles de erosión del suelo, aumento de los niveles de sedimentación, reducción de las poblaciones de los peces, y contaminación del agua.

---

<sup>5</sup> Uso de productos químicos como el cianuro, para filtrar y separar el metal del resto de los minerales, que, para el caso en concreto se usa en minería de cielo abierto.

- ✓ En la India se encuentra el parque nacional Kudremukh en el estado de Karnataka, en este parque opera la empresa Kudremukh Iron Ore Company (KIOCL), según un informe de la ONG india Grupo de Apoyo Ambiental menciona *“variedades de peces han desaparecido debido a la contaminación y señala que los campesinos se quejan acerca del deterioro de la productividad de la agricultura aguas abajo debido a la deposición de desechos provenientes de la explotación minera. La contaminación del río ha provocado un incremento en los casos de enfermedades entre los aldeanos. En 1987 una cañería de desechos de 67 metros se rompió y su derrame alcanzó el río Yennehole, lo que produjo graves daños ambientales.”* (Carrere, 2004). La recuperación de estos daños ambientales en términos de recursos no renovables no puede ser cuantificada en cifras económicas.
  
- ✓ Según la investigación realizada por el Grupo de Trabajo sobre Minería y Derechos Humanos en América Latina, menciona *“Desde hace algunos años ha tenido visibilidad internacional la situación de comunidades gravemente afectadas en sus derechos humanos por el avance de proyectos extractivos a gran escala y de infraestructura en sus territorios. Estos proyectos, realizados generalmente sin participación, consulta previa e, incluso, con oposición de las comunidades afectadas, han generado serios cuestionamientos. El contraste entre la promesa de empleo, desarrollo y prosperidad para las comunidades, por parte de gobiernos y empresas, y la situación de pobreza, graves daños ambientales y violación de derechos humanos en la que se encuentran aquellas exige reflexión y la adopción de medidas que permitan superar esa situación. Esta realidad se refleja en un informe encargado al —en ese momento—Representante Especial de Naciones Unidas sobre Empresas y Derechos Humanos, Prof. John Ruggie, en 2008. El informe destacó que la extracción mineral es el sector industrial que provoca más denuncias y quejas sobre violaciones de derechos humanos”* (Grupo de Trabajo sobre Minería y Derechos Humanos en América Latina, 2008), aun con investigaciones como estas, con la implementación de nuevas regulaciones ambientales y nuevas tecnologías no se tiene una clara garantía de la reducción de impacto ambiental y social generado por las industrias mineras.

De igual forma el Grupo de Trabajo sobre Minería y Derechos Humanos en América Latina que habla acerca de la minería a cielo abierto, menciona *“El **grave impacto ambiental** de esta modalidad de minería es ampliamente conocido y es parte de la información de la que disponen tanto las empresas canadienses como el gobierno de Canadá. En los proyectos analizados los daños al medio ambiente tienen que ver con la contaminación del*

aire, las aguas y el suelo, ya acaecidos o que pueden producirse en el futuro. (Grupo de Trabajo sobre Minería y Derechos Humanos en América Latina, 2008)

***En seis de los casos se observa un patrón en el tipo de daño ambiental, producido principalmente a fuentes de agua.***

- En **Argentina**, en el proyecto **Bajo de la Alumbreira**, la contaminación afecta especialmente las aguas y es generada, entre otros factores, por la deficiente instalación del dique de colas en el origen de un cauce de agua, sin garantizar su impermeabilidad.
- En **Honduras**, en el proyecto **San Martín o Entre Mares**, se ha denunciado la contaminación de las quebradas Agua Tibia y Guajiniquil por una grave infiltración del drenaje ácido en 2008. En junio de 2009 se realizó una nueva inspección con expertos en minas de la Universidad de Newcastle, encontrándose nueva evidencia documental de un grave evento de contaminación ocurrido en septiembre de 2008.
- En **Chile**, en el proyecto **Pascua Lama**, se denunció la afectación de varios de los glaciares. En abril de 2013 las operaciones de la mina fueron suspendidas después de una orden judicial confirmada en última instancia por la Corte Suprema de Justicia el 25 de septiembre de 2013, tras comprobarse contaminación hídrica subterránea en los glaciares Toro 1, Toro 2 y Esperanza<sup>30</sup>. Dicha información ha sido corroborada por el Servicio Nacional de Geología y Minería y el Sistema de Evaluación Ambiental, el cual emitió resolución en octubre de 2012 ordenando la suspensión de las actividades de perforación por parte de Barrick Gold Corp.
- En **Panamá**, el consorcio **Minera Petaquilla S.A.** taló 54.2 hectáreas de bosque primario, secundario y de galería y un estimado de ocho hectáreas adicionales de vegetación para la construcción de la carretera de acceso, de helipuertos, de campamentos y de la planta de procesamiento. Asimismo, extrajo minerales no metálicos, lo que generó efectos erosivos y de sedimentación en las fuentes hídricas.
- En **Perú**, en la **mina Lagunas Norte**, ubicada en el departamento de La Libertad, la Asociación Marianista de Acción Social (AMAS) realizó, mediante procesos de vigilancia ciudadana entre los años 2005 a 2010, un seguimiento que demuestra la contaminación en los ríos de la región. El examen de la calidad físico-química y biológica del agua en las cuencas de los ríos Perejil, Chuyuhual y Caballo Moro concluyó que existen serios problemas de contaminación producidos por las actividades mineras que impactan las cosechas y la pequeña ganadería.
- En **Guatemala**, se ha determinado que en torno a las actividades de la **Mina Marlin** se ha causado una fuerte contaminación del agua. Los resultados de estudios técnicos demuestran la presencia de metales pesados como hierro, aluminio, magnesio y

*arsénico en los ríos de la región como el río Tzala y el Riachuelo, en extensiones abajo del dique de colas.” (Grupo de Trabajo sobre Minería y Derechos Humanos en América Latina, 2008)*

El informe añade que se tienen desplazamientos forzados, división de las comunidades, fractura del tejido social, criminalización de la protesta social, afectaciones económicas, muertes violentas, heridas graves a opositores a los proyectos y a los trabajadores de las minas, vulneraciones a la salud. A la fecha del informe se tienen registros de 198 conflictos por causa de mega minería, de estos, 26 se presentaban en Argentina, 20 en Brasil, 34 en Chile, 12 en Colombia, 29 en México y 34 en Perú, estos datos solo tienen en cuenta empresas canadienses.

- ✓ En México el 22 de julio de 2015 se celebró el día internacional de acción contra la minería a cielo abierto, en la que diferentes comunidades se reúnen en contra de la extracción de Oro más específicamente, dado que cerca del 90% de su extracción se realiza a cielo abierto, en la que incluyen procesos altamente dañinos al medio ambiente, como la inyección de agua y el uso del cianuro, durante esta celebración se realizaron diferentes publicaciones dando alusión a este día, una publicación realizada por Ecoosfera cita los siguientes impactos generados por estas actividades mineras:

- *“Por cada gramo de oro producido, queda una tonelada de tierra con cianuro, arsénico, ácido sulfúrico, plomo y otros metales pesados, que por siglos contaminará el aire y los mantos de agua.*
- *Donde antes había ecosistemas complejos quedan cráteres enormes donde la flora y fauna no se regeneran.*
- *La economía local, lejos de mejorar, es afectada. Se pierden tierras para cultivo y la presencia de minas ahuyenta al turismo.*
- *Se consumen enormes cantidades de agua: la Minera San Xavier, en San Luis Potosí, zona desértica, utiliza 32 millones de litros al día. Aunque a veces se recicla una parte, no hay ninguna garantía de que esa agua sea segura”. (“4 consecuencias de la minería a cielo abierto (hoy es el #DíaInternacionaldeAcciónContralamineríaacieloabierto) | Ecoosfera,” 2015)*

- ✓ El Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales (OLCA) (Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales (OLCA), 2005), en su página Web presentan un informe del impacto de la minería y sus efectos en los países de América Latina para el año 2005. En este se realiza un análisis con respecto al

crecimiento económico en que se menciona que en los años 90 se tenía una captación del 12% de la inversión minera mundial, y para inicios del año 2000 ya contaba con un 33% de crecimiento, lo cual contribuyo a que las exportaciones mineras crecieran en un 40% para el año 2004, en cuyos principales participantes están Brasil, Perú y Chile.

Como parte de la explicación de este crecimiento está el uso de nuevas tecnologías entre las que se encuentran la extracción por lixiviación utilizando productos químicos como el cianuro para el oro y ácido sulfúrico para el cobre “*que son productos contaminantes- precisa cesar padilla responsable del área de minería y comunidades de la OLCA*” (Observatorio Latino Americano de Conflictos Ambientales (OLCA), 2005), dejando en jaque la actividad agrícola en determinadas regiones de los países de Chile y Perú, en donde la industria minera ingresa con la promesa generar beneficios a la comunidad, pero la evidencia es todo lo contrario, no se generan beneficios de crecimiento, de empleo, ni de desarrollo. Organizaciones ambientalistas sostienen que se debe de realizar un estudio para determinar el costo beneficio y conocer que tan viable es conceder los permisos de extracción a las empresas mineras, además de darle participación activa a la ciudadanía a fin de llegar a acuerdos concertados.

- ✓ La empresa Carbocol que realiza extracción de carbón tiene presencia en la Guajira (Colombia) desde el año 1970, la cual ha venido dejando alteraciones en las comunidades indígenas de la zona -Wyuu- quienes han sufrido de la contaminación desde el inicio de las operaciones de esta empresa, daños en los cultivos, deforestación, alteraciones en la producción agrícola y enfermedades respiratorias son solo algunas de los efectos de los cuales se tienen registros. Paralelamente en el Departamento de Cesar se dieron a conocer yacimientos de carbón, e inmediatamente empresas como carbones del Caribe, Carbones Soonoría, Carbones del Cerrejón y empresas canadienses entran a participar en la extracción del carbón.

Colombia cuenta con importantes riquezas naturales, que son ampliamente reconocidas a nivel mundial, pero también es reconocido por tener la mayor explotación a cielo abierto del mundo “La mina el Cerrejón”, que como se vio desde la década de los 70 se encuentra en funcionamiento, ocupando 69.000 hectáreas hasta el año 2013, y siendo uno de los principales proveedores de carbón para los países industrializados, enfocados en Europa y Norteamérica, con una exportación cercana

de 32 millones de toneladas anualmente. Desde el inicio de sus operaciones hasta el día de hoy ha provocado el desplazamiento de cerca de 60.000 personas de las que hacen parte comunidades Wayuu, afrocolombianos, campesinos y otras comunidades indígenas, otras comunidades han desaparecido como lo son; Tamaquillos, Palmarito, Caracolí y entre otros.

Los daños ambientales por la minería a cielo abierto son inconmensurables, especies animales y vegetales nativas se encuentran en peligro de extinción, las actividades de explotación por medio de dinamita crean la elevación de polvo que provocan enfermedades respiratorias como la silicosis<sup>6</sup>. Estas consecuencias han generado protestas en Colombia y en otros países, entre estas protestas se incluyen huelgas del sindicato de la mina del Cerrejón exigiendo mejores garantías laborales, protección al medio ambiente y a la salud, la Federación de Comunidades Desplazadas por la Gran Minería en la Guajira (FECODEMIGUA) también se ha hecho presente para evitar la expansión de las actividades de la mina. Por otra parte, las protestas internacionales incluyen el movimiento alemán Gegenstrom 13 en contra de las exportaciones de carbón desde Colombia, y grupos en Gran Bretaña.

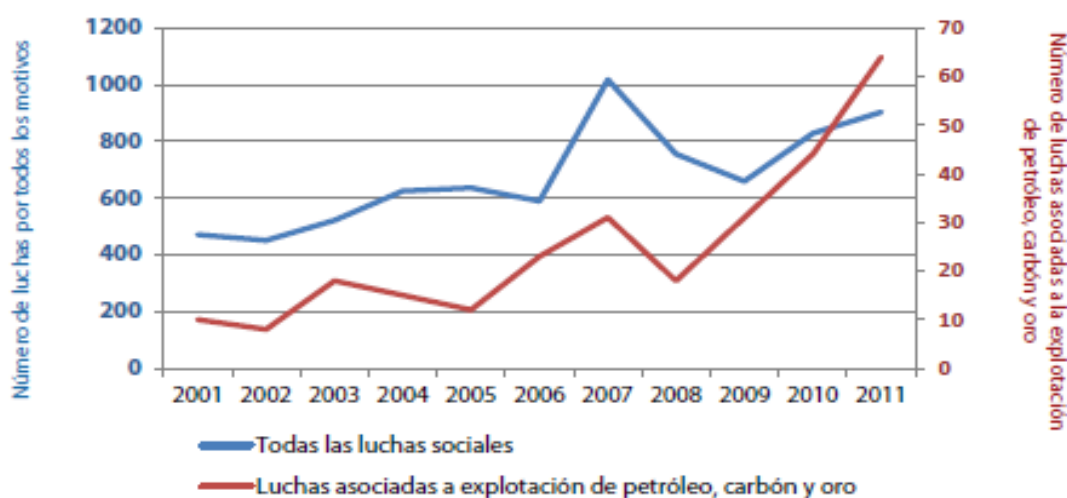
De acuerdo a la investigación realizada por Guillermo, 2012, *“entre enero de 2001 y diciembre de 2011 se han registrado, en la base de datos de luchas sociales de CINEP/PPP<sup>7</sup>, 274 acciones sociales colectivas se han generado”* (Guillermo et al., 2012), como se representa en la figura 2., en la que participan comunidades étnicas, campesinas, ambientalistas, pobladores urbanos y cuyos motivos de lucha son el incumplimiento de pactos, derechos, aspectos ambientales y políticos. Estas luchas están segregadas en la extracción del petróleo, el oro y el carbón, siendo el petróleo el objeto de la mayor cantidad de luchas.

---

<sup>6</sup> Es una enfermedad pulmonar causada por inhalar polvo de sílice, resulta de la exposición a cantidades muy grandes de sílice durante corto tiempo. Los pulmones se inflaman bastante y se pueden llenar de líquido, lo que causa una dificultad respiratoria grave y una baja de los niveles de oxígeno en la sangre. Ocasionado por trabajos en minería.

<sup>7</sup> El Centro de Investigación y Educación Popular, CINEP/Programa por la paz, es una institución fundada por la Compañía de Jesús desde hace más de cuatro décadas. En 1972 se crea el CINEP como una fundación sin ánimo de lucro, con la tarea de trabajar por la edificación de una sociedad más justa y equitativa, mediante la promoción del desarrollo humano integral y sostenible. (<http://www.cinep.org.co/Home2/institucion/nosotros.html>, s.f.)

Grafico 1. Trayectoria de las luchas sociales asociadas a extracción de carbón, oro y petróleo en Colombia, 2001-2011.



Fuente. Minería, conflictos sociales y violación a los derechos humanos en Colombia.

Dos de los diarios más importantes en Colombia hablan acerca de la minería en Colombia, para el caso del diario El Tiempo evalúa algunos indicadores de los efectos de la minería, “los indicadores de pobreza de Chocó, que desde 2009 incrementó de manera acelerada la obtención de oro hasta alcanzar un 39% de la producción colombiana (muy cerca al 42% que concentra Antioquia), son del 74%. Además, tiene un déficit de vivienda de 82%, Y, como si fuese poco, en el Caribe la deforestación ha sido mucho mayor que en cualquier otra región. Entre 2000 y 2007, año tras año, en el norte desaparecían 19 hectáreas (ha) por cada mil, mientras que en todo el territorio la tasa era de cinco hectáreas. A su vez, las zonas carboneras del Cesar talaban, anualmente, 46 hectáreas” (Silva Numa, 2014), así mismo se informa de la liberación de drenajes ácidos que pueden ir a parar a las corrientes de agua, dejando en riesgo a las especies marinas y a las personas. Por otra parte, El Espectador menciona “Minería vs agua. Extraer un gramo de oro implica gastar hasta 1.060 litros de agua. La misma cantidad de arroz, de papa o de leche se puede producir con menos de dos litros. Estos datos, que recoge la investigación, advierten sobre el alto consumo de agua para la actividad minera y la eventual competencia con la producción de alimentos. A esto se suma la contaminación de las aguas por mercurio o cianuro, utilizados para separar el oro de los minerales y por residuos tóxicos que acompañan los desechos mineros”, también se puede encontrar en esta noticia un análisis objetivo basado en una investigación realizada por la Contraloría General, la cual concluye en que Colombia no está preparada para un mayor desarrollo de la industria de la minería, en lo que es evidente que el costo es mucho mayor que el beneficio. (El Espectador, 2013). (Londoño Calle, 2013)

- ✓ La minería en el Departamento Cundinamarca (Colombia), se estableció en Suesca con la empresa Cementos Tequendama con el fin de establecer la producción de Cemento<sup>8</sup>, la cual inicio sus operaciones en el año 2003 y que funciona a tan solo 50 metros del casco urbano de la comunidad, lo cual genera una cantidad de polvo debido a la explotación. La empresa cementera ha adquirido el nombre de “el monstruo de Suesca” dado por el diario El Espectador debido a las denuncias de la comunidad por los efectos negativos que ha generado, actualmente existe un grupo llamado “Colectivo Ciudadano por Suesca” el cual es el principal opositor y que ha logrado evitar que se realice explotación a cielo abierto, sin embargo, la empresa aún continúa solicitando permisos ambientales para ampliar sus operaciones.

## 2.2. Antecedentes del uso de decisión multicriterio en casos similares

De acuerdo a (Steele, 2009), *“El análisis de decisión multicriterio (MCDA) ha sido reconocida como una importante herramienta en la toma de decisiones en materia medioambiental para la formalización y abordar el problema de competir objetivos de*

---

<sup>8</sup> Para la fabricación del cemento se realiza bajo dos métodos, método húmedo y método seco, entre la que sus componentes principales como materia prima son la piedra caliza y la arcilla en una mezcla proporcional a 4:1 respectivamente, y otros compuestos en menor proporción como el óxido cálcico. El método húmedo muele las materias primas agregando agua a la mezcla, hasta que se pueda formar un lodo con un contenido de 35% a 40% de agua, posteriormente se pasa a un proceso de cocción donde el agua se evapora, y dejándolo convertido en cemento. El método seco, tritura la materia prima al tiempo que es secada, el material se precalienta por medio de gases calientes que salen del horno, y se cuece en un horno tubular giratorio a una temperatura de 1400 C.

Impactos ambientales en la fabricación del cemento.

- Durante el proceso de fabricación del cemento se puede generar impactos ambientales al aire por medio del escape de gases, en las etapas de preparación, molienda y cocción, la piedra caliza desprende dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante la cocción, vapor de agua en menores proporciones, también es recurrente que aparezca compuestos de azufre (SO<sub>2</sub>), y óxidos de nitrógeno.
- El polvo es otro factor que se produce en las etapas del proceso; molienda y mezclado de las materias primas, cocción. Sin embargo, según el proceso que se tenga de fabricación el polvo es aprovechado en otros sectores de la industria, lo cual se espera que no tenga mayores repercusiones.
- Por otra parte, el ruido si puede generar un efecto mayor, por el uso de explosivos para remover la tierra, maquinaria pesada, durante el proceso de molienda y trituración la maquinaria genera sonidos extremadamente fuertes tanto que deben ser insonorizados, en el proceso de cocción se requiere de ventilares que general ruidos muy penetrantes. Por lo que es recomendable que las plantas estén ubicadas a una distancia mínima de 500 metros de zonas urbanas.
- En el caso del agua residual, puede contener materias sedimentables, por lo que es necesario someterla a procesos en tanque de reposo, en cuanto se tengan procesos eficaces en el tratamiento de estas aguas, esto no presume un alto impacto ambiental, así mismo, no se tienen mayores consumos de agua durante el proceso de fabricación.
- Sin lugar a dudas el mayor impacto se ve reflejado en los ecosistemas, debido a que las materias primas se encuentran en la tierra, y su extracción implica que se vea afectado el paisaje, en lo cual es imperativo tener en cuenta la normatividad vigente que se tiene con respecto a los terrenos en los que se pretende intervenir, adicional que se deben tener en cuenta los límites, ya que pueden verse afectadas las comunidades aledañas, durante la explotación se requiere de 1,6 toneladas de materia prima por cada tonelada de cemento. (Estrucplan Consultora S.A, 2003)



*decisión (Janssen, 1992; Lahdelma et al, 2000; Linkov et al, 2006; Regan et al., 2007; Yatsalo et al, 2007)”. (Steele, Carmel, Cross, & Wilcox, 2009)*

Son muchos los casos de aplicación para el campo de la decisión multicriterio, por lo cual solo se mencionarán algunos que tienen una similitud en términos de análisis de problemas ambientales o de gestión ambiental, así mismo, aquellos trabajos que representan un análisis desde la aplicación de modelos MCDA en campos ambientales.

a) Using Multicriteria Methods in Environmental Planning and Management (Lahdelma, Salminen, & Hokkanen, 2000), describe el uso de los métodos multicriterio (MCDA) en los procesos de planeación medioambiental, y analiza los casos basados en aplicaciones de la vida real, haciendo mención de su importancia desde el punto de vista de la caracterización de los análisis de los conflictos socioeconómico, ambiental y económico, por grupos de interés del sector público. Así mismo tiene en cuenta las etapas que se generan durante del desarrollo del método, como son los puntos de vista de los grupos de interés y la evaluación en termino de los diferentes criterios.

Se hace referencia a las siguientes aplicaciones en Finlandia:

*Tabla 2. Aplicación del MCDA en Finlandia.*

Aplicación	Año	Métodos	Reportado en
Sistema de gestión residuos sólidos urbanos en Uusimaa.	1991-92	Electre II	Hokkanen and others (1995)
Sistema de gestión residuos sólidos municipales en Jamsa.	1993	Electre III	Hokkanen and Salminen (1994)
Sistema de gestión residuos sólidos municipales en Oulu.	1993	Electre III	Hokkanen and Salminen (1996)
Localización de una planta de tratamiento en el área de Savonlinna.	1994-95	Promethee I y II	Hokkanen and Salminen (1997)
Evaluación del impacto ambiental en Helsinki Harbor.	1994-95	SMAA	Lahdelma and other (1998)

Explica que la planeación ambiental involucra muchas personas y organizaciones, y que en muchos casos los conflictos entre ellos pueden ir desde meses hasta años, dado que estos procesos requieren de diferentes fases de desarrollo y que en muchos casos no garantiza la solución de sus problemas, es entonces cuando

el (MCDA) entra para apoyar estos problemas y generar soluciones que puedan tener en cuenta todos los factores y actores involucrados.

*Tabla 3. Criterios de aplicación en plantas de tratamiento de residuos.*

Categoría	Criterios
Economía.	Costos de operación. Costos de construcción. Costos de transporte.
Tecnología.	Capacidad de tratamiento de la planta. Vinculación con infraestructura existente.
Medioambiente.	Efecto sobre las aguas subterráneas. Efectos sobre las aguas de la superficie. Efectos ecológicos. Efectos sobre el paisaje.
Personas y urbanizaciones ambientales.	Usos recreacionales. Historia cultural Salud e higiene. Ruido.

En el país de Finlandia los criterios de aplicación más comunes de la decisión multicriterio, son vistos por los Stakeholders en el sector público como una solución efectiva a los problemas en donde enfocan sus esfuerzos en distintos sectores.

Este trabajo demuestra la amplitud que tienen los modelos multicriterio, en diferentes campos ambientales y en la aplicación de distintos modelos MCDA, que para Finlandia son trabajados desde las entidades públicas, quienes encuentran un gran interés en tener resultados claramente definidos y verificables.

- b) De acuerdo al artículo, Application of Multicriteria Decision Analysis tools to two contaminated sediment case studies. (Yatsalo et al., 2007), el uso de metodologías en decisión multicriterio permite marcar estrategias que involucren a un grupo de expertos, análisis de costo beneficio, evaluación de riesgo, comparación de evaluación de riesgos y muchos más. El análisis en que se basa este artículo es visualizar dos casos de estudio basados en problemas de sedimentación (Corporación de ingenieros de fuerza armada de los EEUU y otros grupos de interés en New York/New Jersey, y en el Rio Cochecho in New Hampshire), por medio de diferentes herramientas MCDA como son Analytical Hierarchy Process (AHP), teoría de valoración multiatributo (MAVT) y (Promethee), a partir de esto buscan mostrar cual es la herramienta más apropiada para el desarrollo del proceso.

Alternatives/criteria	Cost (\$/cubic yard)	Environmental quality	Ecological habitat (acres)	Human habitat (acres)
Wetlands restoration	\$75	High	10 addn.	No change
Cement manufacture	\$30	High	No change <sup>a</sup>	No change
Upland disposal cell	\$40	Medium	No change	4 addn.
Flowable fill	\$55	Medium	No change	No change

<sup>a</sup> No change = 0.

*Imagen 2. Alternativas y criterios. Caso rio Cochecho.*

Criteria/alternatives	Confined aquatic disposal	Island confined disposal facilities (CDF)	Nearshore CDF	Upland CDF	Landfill	No action	Cement lock technology	Manufactured soil technology
Magnitude of ecological hazard quotient	680	2,100	900	900	0	5,200	0	8.7
Complete ecological exposure pathways	23	38	38	38	0	41	14	18
Complete human health exposure pathways	18	24	24	24	21	12	25	22
Magnitude of maximum cancer risk (non-barge worker)	0.03	0.09	0.04	0.04	0.3	0.2	0.02	1
Estimated concentration of contaminant of concern in fish/risk-based concentration	28	92	38	38	0	220	0	0
Cost (\$/cubic yard)	5	25	15	20	70	2	75	60
Ratio of impacted area to facility capacity (acres/million cubic yards)	4,400	980	6,500	6,500	0	0	0	750

*Imagen 3. Alternativas y criterios. Caso New york.*

Los resultados es que para el caso 2 (Rio Cochecho), los métodos (MAVT y AHP) son similares en la clasificación de las alternativas, siendo la limpieza del rio como la mejor alternativa, por medio de la restauración de humedales a través de la fabricación de cemento con los sedimentos como materia prima. Mientras que para (AHP y PROMETHEE) demostraron no ser robustos a la hora de aplicar la metodología.

Ahora para el primer caso de estudio los tres métodos multicriterio demostraron no ser robustos para su aplicación, y tres de las alternativas del total evaluadas estuvieron en concordancia con los métodos (bloquear los cementos, vertederos y CAD).

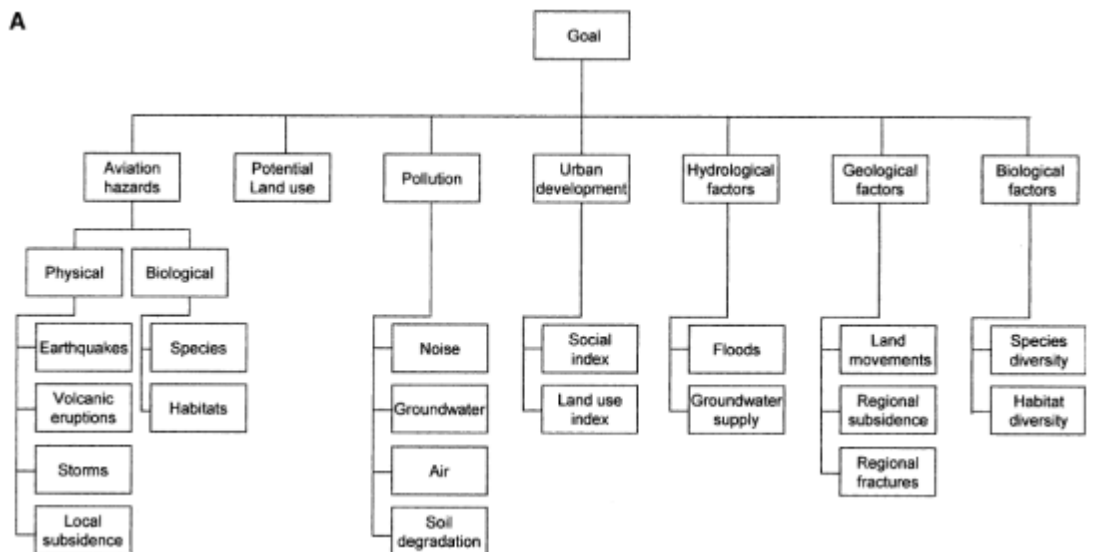
Ciertamente la aplicación de diferentes métodos multicriterio -que en este análisis fueron dos casos- permite tener una amplia visión de la aplicabilidad de la construcción de modelos de decisión y que en concreto tuvieron que ver con la búsqueda de alternativas para la solución de la contaminación por sedimentos con diferentes herramientas multicriterio.

- c) El articulo Building consensus in environmental impact assessment through Multicriteria modeling and sensitivity analysis (Bojórquez-Tapia, Sánchez-Colon, &

Martinez, 2005), presenta el MCDA aplicado a la evaluación de impactos ambientales generados por un aeropuerto. Para el desarrollo del método basado en la concesión el equipo interdisciplinario se dividió en un grupo de integración responsable de la aplicación de los métodos MCDA y seis grupos de especialistas (Hidrología, contaminación del aire, desarrollo urbano, uso potencial de la tierra, geología y la biodiversidad), cada uno de los seis grupos especialistas de forma independiente realizaron visitas bajo la supervisión del grupo de integración.

La herramienta utilizada para el MCDA fue el AHP, este se llevó a cabo en cada grupo de trabajo por medio del software Expert Choice, de esta forma los expertos se pudieron familiarizar con la metodología, y se empezó a realizar la jerarquía de los temas relevantes identificados por las autoridades ambientales. Una vez se obtuvieron los criterios finales de decisión, los grupos de especialistas se concentraron en evaluar las magnitudes de los impactos ambientales potenciales.

Lo que se obtuvo fueron las siguientes imágenes:



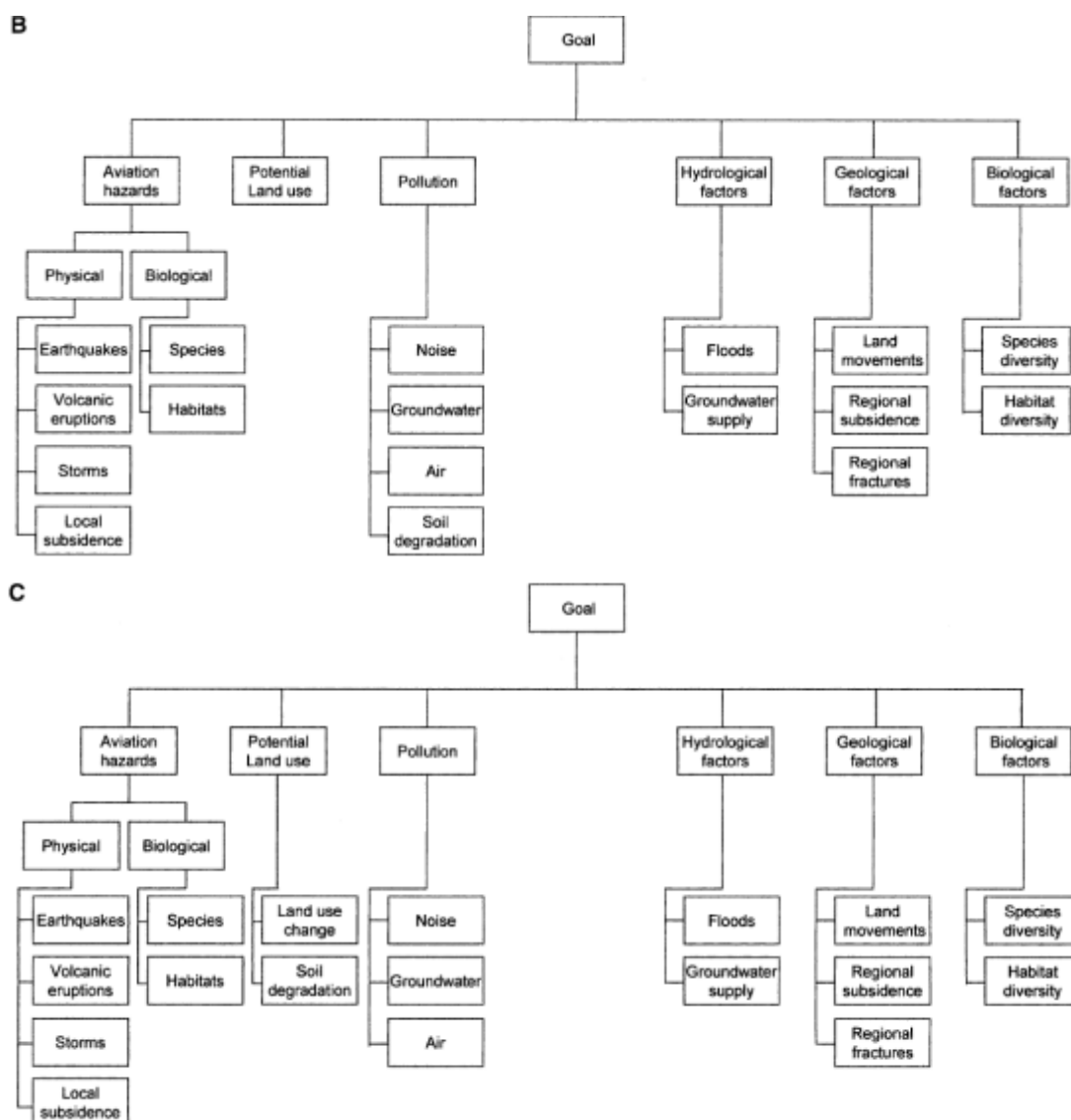


Imagen 4. Jerarquía de la Evaluación del Impacto Ambiental (caso aeropuerto).

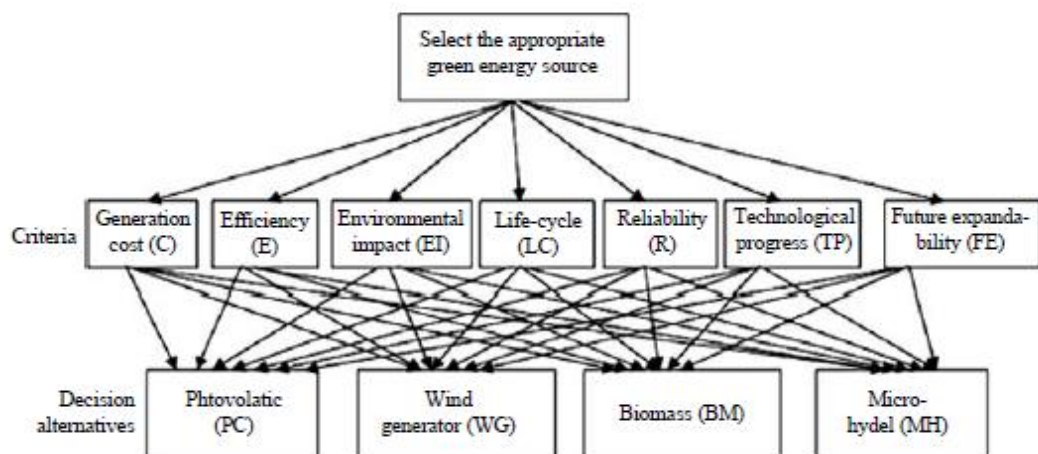
Los resultados de la evaluación de impactos ambientales por medio de AHP, arrojo que una fuente de desacuerdo entre los expertos y las partes interesadas fue la incertidumbre de las mediciones de los criterios de decisión, en relación con la clasificación de las alternativas. Entre las que se encuentran: la diversidad de especies, la diversidad de hábitats, suministro de agua subterránea, la contaminación de las aguas subterráneas, fallas geológicas, y el potencial uso del suelo, por lo cual fue necesario realizar un análisis de sensibilidad.

Como conclusión el análisis de sensibilidad resultó ser fundamental para la construcción de un consenso sobre el medio ambiente crítico cuestiones y medidas de prevención para ser implementadas antes de la ejecución del aeropuerto. Por lo

tanto, la motivación política, económica y las objeciones de la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) no duraron en frente a la integralidad, transparencia y rigor del MCDA, al contexto de la solución de conflictos ambientales. Se cita a Rowe y Pierce (1982) diciendo, *“la identificación de una alternativa obviamente dominante es poco probable en las últimas etapas de un proceso que se sienta”*, como se ha hecho el caso del aeropuerto.

- d) De acuerdo al trabajo realizado por Green energy sources (GES) selection base don multi-criteria decision analysis (MCDA) (Datta Asim, Ray Amita, Bhattacharya Gautham, & Saha Hiranmay, 2002) , cuyo propósito era realizar un análisis en decisión multicriterio por medio de Analytic hierarchy process (AHP), enfocado a las (GES por sus siglas en inglés) fuentes de energías verdes -llamadas también renovables-, para evaluar las GES, fotovoltaica (PV), generador de viento (WG), biomasa (BM) y micro-hydel (MH) y para encontrar la selección apropiada, en general, mediante la evaluación de su principal característica operativa.

Los factores de decisión sobre los cuales se plantearon los criterios y las alternativas de selección, tuvieron gran importancia según lo establecen los autores: la abundancia cuantitativa de recursos, costo aceptable de las tecnologías, la compatibilidad con los objetivos de crecimiento económico, la fiabilidad de las opciones de suministro, factores políticos, la ubicación geográfica, las implicaciones ambientales y climáticas. Los autores establecieron como principales criterios de decisión: costo de generación de energía (C), eficiencia de operación (E), impactos ambientales (EI), ciclo de vida de las plantas (LC), confiabilidad (R), progreso tecnológico (TP), posibilidad de futuras ampliaciones (FE). De acuerdo a estos criterios y con el fin de lograr el objetivo principal, se tuvieron en cuenta las siguientes alternativas: sistema de energía foto volcánica solar (PC), sistema de generación de energía por viento (WG), biomasa (BM), energía hidráulica (MH). De acuerdo a lo anterior diseñaron la jerarquía del proceso.



*Imagen 5. Selección de problemas jerárquico energías verdes.*

Después de aplicar el modelo AHP, se obtuvo lo siguiente:

- Caso 1. Si el cliente tiene una baja preferencia de costo, entonces BM es la mejor alternativa.
- Caso 2. Si el cliente es reacio a sacrificar costo (es decir, el costo es importante), entonces MH es la mejor opción.
- Caso 3. Si el cliente prefiere el costo moderadamente entonces cualquiera de las tres alternativas (BM, WG y MH) pueden ser elegidos.
- Caso 4. Si el cliente haya una baja preferencia de eficiencia de la generación entonces es el WG mejor alternativa.
- Caso 5. Si el cliente se centra en la eficiencia de la generación entonces BM es la mejor alternativa.

En cualquiera de los casos mencionados se tienen beneficios, y que estos solo dependerán del enfoque que desee el cliente.

Se puede apreciar la aplicación del modelo AHP en la gestión ambiental, en este caso para la selección de la mejor alternativa en la reducción del impacto ambiental por el uso de combustibles fósiles. Lo interesante de este estudio es la flexibilidad con la que los autores generan diferentes opciones de selección de acuerdo a las necesidades del cliente, esto permite tener en cuenta que el modelo multicriterio aplicado genera valor agregado en el momento de tener en cuenta todos los factores analizados, tanto económicos, geográficos, políticos, etc.

e) Un trabajo muy interesante de ver es Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends (Huang, Keisler, & Linkov, 2011), dado que recopila información muy importante en la aplicación de la decisión multicriterio en temas medioambientales. En este trabajo se revisaron más de 300 artículos publicados entre los años 2000 y 2009, y cuya fuente principal de consulta fue la página web de base de datos Science (WOS) que tiene acceso a más de 10.000 artículos. Los documentos se clasificaron por su área de aplicación, la decisión y el tipo de intervención. Estos a su vez se clasificaron por los métodos MCDA utilizados en el análisis (proceso analítico jerárquico, la teoría de utilidad multiatributo, y superando).

Los análisis incluyen comparaciones en detalle de 312 archivos entre cuatro métodos multicriterio, y sus aplicaciones ambientales entre los años de 2000 a 2009, (ver **imagen 6**) realizada por los autores.

		AHP/ANP	MAUT/MAVT	PROMETHEE	ELECTRE
Environmental problem	Waste management	15	5	4	0
	Water quality/management	4	7	1	2
	Air quality/emissions	0	1	6	0
	Energy	14	3	4	3
	Natural resources	7	1	0	0
Intervention type	Stakeholders	16	5	1	2
	Strategy	22	12	6	3
	Sustainable Manufacturing/engineering	18	2	0	1
	Remediation/restoration	4	5	1	2
Complementary tools	Spatial/GIS	24	5	0	0
	Environmental impact assessment	26	5	2	1
	Total	150	51	25	14

*Imagen 6. Distribución de MCDA por métodos y aplicaciones.*

De la imagen 6, **se puede ver que el método AHP y ANP tiene un total de 150 aplicaciones en temas ambientales**, y cuyo factor de mayor relevancia se encuentra en el ítem de herramienta complementaria “evaluación de impactos ambientales”.



Year	Number of MCDA papers	Total number of environmental papers	Percentage = MCDA/total	Normalized ratio
1990	2	807	0.25	0.99
1991	7	2323	0.30	1.21
1992	5	2414	0.21	0.83
1993	10	2704	0.37	1.48
1994	23	3008	0.76	3.06
1995	22	3709	0.59	2.37
1996	24	3691	0.65	2.60
1997	31	4550	0.68	2.73
1998	26	4755	0.55	2.19
1999	34	5395	0.63	2.52
2000	26	4885	0.53	2.13
2001	35	5234	0.67	2.67
2002	54	5929	0.91	3.64
2003	57	6207	0.92	3.67
2004	59	6136	0.96	3.85
2005	89	7633	1.17	4.66
2006	94	8190	1.15	4.59
2007	123	8317	1.48	5.92
2008	169	10,791	1.57	6.26
2009	211	11,231	1.88	7.51
2010	200	12,068	1.66	6.63

*Imagen 7. Crecimiento de las aplicaciones en el campo ambiental.*

Así mismo, en la imagen 7 se ve el crecimiento que ha tenido las aplicaciones del MCDA en la gestión ambiental, entre el año 1990 a 2010. A pesar de que el análisis detallado se encuentra fuera del alcance de este trabajo, los autores creen que este crecimiento se puede atribuir tanto a una mayor disponibilidad de decisiones, la complejidad de la información, de reglamentación y las partes interesadas para impulsar la transparencia en el proceso de toma de decisiones.

Una de las expectativas iniciales del estudio era conocer la eficacia de la aplicación de los modelos MCDA. Sin embargo, la literatura consultada incluye principalmente las descripciones de cómo se aplicaron los modelos teóricos o de innovaciones y no de su eficacia. Por otra parte, si se puede visualizar que los problemas tratados en los archivos analizados son enmarcados en un mismo ámbito de aplicación aun cuando sus objetivos eran distintos, es decir, los modelos demuestran ser uniformes en la generación de alternativas, recolección de la información y jerarquización de la información.

El artículo advierte que muchos de los artículos analizados no incluían campos específicos como publicaciones relacionadas con el petróleo y gas, estos no fueron clasificados por su calidad o en la profundidad de su investigación, de hecho, algunas de las aplicaciones eran superficiales mientras que otras eran muy

profundas y con gran detalle. Algunos eran estudios de casos reales en los que se encontraban análisis de incertidumbre, de sensibilidad que incluían métodos probabilísticos, en lo que respecta a otros, solo se limitaban a realizar discusiones de otros resultados o de casos hipotéticos.

Los resultados de estudio realizado sugieren que hay un crecimiento significativo en las aplicaciones ambientales, lo que respalda nuevamente la importancia del MCDA en ámbitos ambientales, tales crecimientos se han dado en la última década en todas las áreas de aplicación ambientales, y muchas de estas herramientas MCDA independientemente de su clasificación han sido utilizados con éxito para aplicaciones ambientales.

### **2.3. Impactos ambientales de la minería en Colombia**

Para caracterizar el caso de estudio y poder definir los problemas ambientales a priorizar, se tendrán en cuenta aquellos que son más reiterativos en la minería en Colombia como marco general y como marco específico aquellos que se dan en el municipio de Suesca -siendo este nuestro caso de estudio- en el que se tengan registros como: denuncias, informes, noticias y otros casos de estudios similares, que se presentan en este apartado.

Es bien sabido que en Colombia opera tanto la minería legal como la ilegal, y que ambas ocasionan efectos en el entorno, en la sociedad y en el medio ambiente, con la diferencia que la minería legal se le puede realizar control por parte de las entidades gubernamentales y que en caso de comprobarse que sus operaciones han generado efectos negativos es posible hacerlas responsables. Todo lo contrario, ocurre con la minería ilegal, dado que no se ejerce ningún tipo de control sobre sus procesos de extracción ya que no se conoce que se están ejecutando estas operaciones de minería; operaciones que no cuentan con los controles de calidad, de infraestructura, generando mal manejo de insumos -productos químicos-, y la aplicación legal ambiental no asegura minimizar los riesgos e impactos generados.

Partiendo de la anterior premisa, se tomarán los impactos ambientales que son objeto del marco de estudio de este documento, sin tener en cuenta si la actividad de minería es legal o ilegal, puesto que sus efectos son igualmente visibles en el entorno.

Según el Diagnostico minero ambiental del rio Dagua realizado por la corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca en el 2012. En la cuenca hidrográfica del rio Dagua del departamento del Valle del cauca, se llevan a cabo excavaciones de minería principalmente de oro, durante el 2008 la Cámara Colombia de la Infraestructura (CCI) informo que se tiene una alta carga de sedimentación de 255.000 toneladas anuales, generando graves problemas ambientales como lo son: la contaminación del recurso hídrico, inestabilidad geológica, daños en la morfología del rio, erosión, pérdida de la cobertura vegetal, pérdida de la calidad del agua, contaminación por cianuro y mercurio, pérdida de fauna, hundimientos en las vías, y adicionalmente los trabajadores ponen en riesgo su vida por la baja seguridad de las operaciones y la presencia de enfermedades. No se tiene un cálculo de los daños causados. El presupuesto que se tiene para realizar el diagnóstico sobre la afectación asciende a los \$8.350 millones (pesos corrientes de 2010).

La situación de la cuenca del rio San Juan ubicado en la cordillera occidental de los Andes colombianos que atraviesa el Departamento del Choco no es menos alentadora, las extracciones en este lugar son principalmente de oro y platino. La Cuenca de este rio es caracterizado por su gran biodiversidad de flora y fauna selvática, con bosques tropicales lluviosos y abundancia de especies, cabe mencionar que el choco se encuentra ubicado dentro de áreas protegidas y de reserva forestal legalmente por la normatividad colombiana. En el plan de acción presentado por la Corporación Autónoma Regional del Choco (Codechoco) 2007-2011, presenta importantes registros de impactos ambientales: contaminación de fuentes hídricas con presencia de solidos disueltos en el rio, vertimiento de aguas residuales -lo que altera la calidad del agua-, potencial contaminación por cianuro y mercurio, emisión de gases contaminantes, deforestación, sedimentación, pérdida de cobertura vegetal, fragmentación del paisaje, fragmentación de hábitats naturales, aumento de la tasa de erosión, pérdida de fertilidad de los suelos, posible extensión de poblaciones y/o especies. No se han calculado los costos de recuperación.

Dentro de los impactos ambientales de los dos casos anteriores se evidencio que durante la explotación se encuentran efectos relacionados con la acidez del agua - cambio en el pH- el cual es ocasionado por la influencia de sustancias químicas toxicas de naturaleza proveniente de sulfatos, metales pesados y metaloides tales como el plomo, arsénico y el cromo. Durante la explotación del carbón se puede tener presencia de cobalto, magnesio, níquel, plomo, cobre y cromo, que durante la

ejecución de estas actividades los minerales no solo contaminan el agua, también tienen actuación sobre el aire y el suelo.

Para el caso de estudio Cementos Tequendama con presencia en Suesca (Cundinamarca – Colombia), en donde su principal extracción son materias primas para la fabricación de Cemento -piedra caliza- estableciendo su planta cerca de la comunidad urbana lo cual ha hecho que se generen una serie de denuncias que han estado respaldas por importantes medios de comunicación como El Espectador (Londoño Calle, 2013), Revista semana (Semana, 2015), El tiempo (Silva Numa, 2014), Noticias Uno (Noticias uno, 2014), W Radio (“Cementos Tequendama estaría afectando recursos hídricos en Boyacá, según la comunidad,” n.d.), haciendo mención a: hundimiento de carreteras, polvo y gases alterando la calidad del aire, ruido, malos olores, desertificación, contaminación del suelo, erosión, deforestación, pérdida de la cubierta vegetal, la contaminación de las aguas subterráneas y agotamiento de este recurso, la contaminación de las aguas superficiales, remoción de ecosistemas, y la desertificación en la zona.

Con la información anterior y con el fin de definir los problemas a priorizar en el municipio de Suesca, se consolido la información de los tres casos vistos con el objetivo de dar a entender que muchos de estos factores son recurrentes y que no son ajenos entre el tipo de minería, los minerales extraídos y la región en que son explotados. Los impactos que se seleccionaron son aquellos que son visibles, así mismo, se estableció los que son reales y que se presentan actualmente según Enviromental Justice Organizations (Ejatlas), dado esto solo se tomaran dentro del modelo MCDA los que son reales. Dando como resultado lo siguiente:

<b>Caracterización de problemas ambientales en Suesca a Priorizar</b>
<b>Visibles (Reales)</b>
1. Contaminación del suelo.
2. Contaminación de fuentes hídricas. Subterráneas y superficiales.
3. Contaminación del aire.
4. Deforestación. Pérdida de biodiversidad (flora y fauna).

*Tabla 4. Caracterización de problemas ambientales en Suesca a Priorizar*

### **3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Descripción del problema**

El municipio de SUESCA se encuentra ubicado en la sabana de Bogotá, dentro de su perfil sociodemográfico dicha población se dedica principalmente al ecoturismo y la agricultura, y cuyo ecosistema es prioritario y resguardo del agua de la capital según la ley ambiental del país. La empresa cementos Tequendama llega al municipio para el año 2002, promoviendo el manejo de aditivos de cemento. Para el año 2003 la empresa obtiene la licencia de construcción, manifestando al municipio, por medio del oficio 1500/2003 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), que no necesitaba licencia ambiental para las instalaciones del manejo de aditivos de cemento, aun cuando el suelo es de vocación agropecuaria y eco-turística. Continuando con los trámites de la cementera, se han venido presentando solicitudes de expansión de la planta para la fabricación de cemento, y se realiza una audiencia popular sin dar a conocer detalladamente el proyecto. Es así como se expande llegando a estar a solo 50 m de la cabecera municipal. En 2006 el Instituto Colombiano de Geología y Minas (INGEOMINAS) le otorga un título minero de 240 Ha, posteriormente la empresa determinó cuatro zonas de 20 Ha para la extracción de material, iniciando las adecuaciones para la producción de cemento.

En 2008 cementos Tequendama inicia operaciones en SUESCA. Es a partir de este momento que se comienzan a percibir las afectaciones en la salud tales como; enfermedades respiratorias, contaminación auditiva acompañado por olores fétidos. En lo que respecta al ambiente se tiene; cultivos cubiertos por el polvo que expide la planta, la contaminación a la quebrada el Salitre por el vertimiento de los desechos de la fábrica, y a la quebrada La Susana la cual abastece el acueducto de la vereda Chiquita Bajo, entre otras afectaciones se presentan agrietamientos en las viviendas, por los tracto-camiones que cargan el material para su procesamiento.

Por tales motivos se conformaron los grupos: “Ciudadano Unidos por SUESCA” y “SUESCA Pensando Actuando” con el fin de que las protestas de la comunidad fueran escuchadas sin tener éxito, debido a esto se recurrió a instituciones de educación superior locales, en busca de asesoría técnica, ambiental y jurídica para demostrar las afectaciones que la empresa genera en la población, con el fin de promover el cierre de la cementera.

Por medio de la Universidad Central de 2011-2013 Mediante el proyecto “Estudio Preliminar de la Calidad del Aire en el Municipio de SUESCA Cundinamarca”, se obtuvieron resultados en los que se demuestra que la concentración diaria de material particulado sobrepasa los límites de la norma nacional, la alcalinidad del ambiente y la concentración anormal de carbono a nivel del pecho en las zonas aledañas a la planta cementera.

En 2014 se dio a conocer que la CAR otorgó a la empresa una licencia ambiental para la explotación de arenas silíceas en una mina a cielo abierto con un área de 80 Ha., dentro de lo que meses antes pertenecía al área de Reserva Forestal Protectora de la Cuenca Alta del río Bogotá, 27,7 Ha. Esta zona se encuentra dentro de la reserva, y las modificaciones a la misma fueron realizadas mediante Resolución 138/2014 del Ministerio de Medio Ambiente. La empresa menciona que la licencia solo se concedió para la explotación en 15 Ha, pero que aún no cuentan con una resolución final. Es así como las protestas aumentaron.

Ante tal situación la comunidad se organizó interponiendo 13 procesos jurídicos y una Acción Popular que ha frenado la continuidad de los procesos para la instalación de la mina. Para 2015 según declaraciones de la CAR, no había dado resolución al otorgamiento de la licencia, por lo que la comunidad exige que se realice un control político de todas las disposiciones administrativas que permitieron la construcción, operación de la planta y licencia ambiental para la explotación de la mina. (Ejatlas, 2015)

### **3.2. Formulación del problema**

¿Es posible la priorización de problemas ambientales mediante técnicas de análisis en decisión multicriterio para el caso de estudio SUESCA?

## **4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Justificación**

El proyecto investigativo se llevará a cabo para lograr la aprobación al requisito exigido como opción de grado y posterior obtención del título en ingeniería industrial.

La propuesta que se lleva a cabo en esta investigación, nace de la necesidad generar un análisis situacional en SUESCA, que permita identificar y priorizar las problemáticas derivadas de la producción de cemento de la empresa Cementos Tequendama.

Se espera que este proyecto permita dar a conocer la aplicación de técnicas que den respuesta a la formulación del problema por medio de la caracterización de los impactos ambientales, y la identificación de criterios y alternativas para establecer la priorización de las problemáticas ambientales que se tienen en la comunidad por la operación de la empresa Cementos Tequendama.

Con respecto a la metodología seleccionada para la investigación del proyecto, se espera generar un resultado que permita evaluar las alternativas a la problemática identificada, generando así un resultado innovador en la aplicación de la investigación de operaciones en la priorización de problemas ambientales. Entregando una herramienta metodológica a través de la decisión multicriterio.

### **4.2. Delimitación**

La investigación será desarrollada en el municipio de SUESCA, entre la empresa cementos Tequendama y las comunidades aledañas que están siendo mayormente afectadas, tales como las veredas chitiva abajo, chitiva alto, y los barrios de villa patricia y farallones. Aplica desde la identificación del problema hasta la entrega del informe de resultados obtenidos de la investigación realizada a la Universidad ECCI.

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1. Marco conceptual**

El medio ambiente es hoy uno de los pilares fundamentales en el desarrollo del ser humano, en el que su cuidado es algo primordial para muchos gobiernos, ONG y Grupos de interés social en todo el mundo. Es por esto que tratados como el “Protocolo de Kioto” en el que distintas regiones y países son partícipes se hace tan importante, y que tiene como objetivo evitar el crecimiento del calentamiento global y el cambio climático. Que ya es de hecho una realidad, y en la que la deforestación de los bosques, la erosión, la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), entre otros elementos, y que las industrias mineras han contribuido a que esta situación sea tan agravante.

En muchos casos los problemas ambientales generados son tan numerosos que se hace difícil saber cuáles son los primordiales a atacar por las partes interesadas, lo que conlleva a que no se puedan dirigir los recursos de manera eficiente para dar tratamiento a los efectos adversos, dejando en visto la mala administración de los recursos, el descontento de las comunidades, y el empeoramiento de los impactos negativos generados en el medio ambiente.

La decisión de aplicar este análisis para el caso en estudio por medio de la selección de técnicas en decisión multicriterio, está basado en el objetivo de establecer el método más apropiado para la priorización de los problemas ambientales, para lo que es requerido conocer los conceptos que giran en torno al medio ambiente y las técnicas de decisión multicriterio a fin de definir los problemas a priorizar y así alcanzar resultados puedan servir como base de estudio futuras investigaciones.

### **5.2. Conceptos**

➤ Adecuación ambiental.

Acción de manejo o corrección destinada a hacer compatible una actividad, obra o proyecto con el ambiente, o para que no lo altere significativamente. (MINISTERIO, 2003)



➤ Agente lixiviante.

Sustancia química (cianuro, tiourea, ácido) que tiene la propiedad de disolver selectivamente uno o más elementos presentes en una roca o mineral. (MINISTERIO, 2003)

➤ Aguas residuales.

Son las resultantes de actividades y procesos industriales, o de otro orden, que se vierten como efluentes. (MINISTERIO, 2003)

➤ Alteración.

Cambio en la composición química o mineralógica de una roca, producido generalmente por meteorización o por acción de soluciones hidrotermales. En general, se refiere a cambios físicos o químicos sufridos por rocas o minerales después de su formación promovidos por procesos exógenos tales como meteorización, o por procesos endógenos tales como magnetismo o fallamiento. (MINISTERIO, 2003)

➤ Ambiente.

Es el conjunto de condiciones externas que influyen sobre el hombre y emanan fundamentalmente de las relaciones sociales, se define en términos funcionales, como un conjunto de factores, o si se quiere, variables, no pertenecientes a sistemas bajo consideraciones que interactúan con elementos de dicho sistema (o con el sistema en su totalidad). (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

Entorno en el que opera una organización, que incluye aire, suelo, agua, recursos naturales, seres humanos y su interacción". (MINISTERIO, 2003)

➤ Análisis.

Distinción y separación de las partes de algo para conocer su composición. ("Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario," n.d.)

➤ ANP (ANALYTIC NETWORK PROCESS).

Proceso analítico en red donde el esquema jerárquico que considera relaciones de abajo arriba, arriba abajo, derecha a izquierda y viceversa dentro de cada jerarquía en la valoración multicriterio. (Bellver Aznar & Martínez Guijarro, 2012)

➤ Aprovechamiento ambiental.

La utilización de los recursos naturales y el espacio de una manera tal que pueda obtenerse de ellos el mejor rendimiento posible y se evite su dilapidación, depredación y deterioro”. Una segunda definición es “el uso o explotación racional de recursos y bienes naturales”. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

➤ Atmosfera.

Masa gaseosa que rodea la tierra y que está formada por aire, mezcla de gases variables según la altura y, en menor grado, según los lugares y circunstancias. Para evaluar la calidad del aire se cuenta con el Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA). (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

Capa gaseosa homogénea que envuelve el globo terráqueo. (MINISTERIO, 2003)

➤ Biodegradable.

Es el consumo de sustancias por parte de microorganismos. En la que se puede dar por biodegradación aeróbica -presencia de oxígeno- o por biodegradación anaeróbica – ausencia de oxígeno-. (Greenpeace, n.d.)

Capaz de ser asimilado (descompuesto y metabolizado) por el medio ambiente gracias a su naturaleza química. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

Material que puede ser descompuesto o sujeto a putrefacción por bacterias u otros agentes naturales. (MINISTERIO, 2003)

➤ Cadena trófica.

Secuencia alimentaria en un sistema ecológico, cuyos eslabones los constituyen los productores primarios, los consumidores (herbívoros y carnívoros) y los descomponedores. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

➤ Calidad de la vida.

Concepto que integra el bienestar físico, mental, ambiental y social como es percibido por cada individuo y cada grupo. Depende también de las características del medio ambiente en el que el proceso tiene lugar (urbano, rural)”. Citando a RIODUERO, 1975 (250) p. 40 “concepto central en toda la problemática del medio ambiente en razón de la preocupación que ha suscitado “la sociedad del despilfarro”, con sus consecuencias materiales (deterioro del medio ambiente) y sus consecuencias sociales y psíquicas

(aumento de la violencia y la criminalidad, fomento de las drogas, etc.). La calidad de la vida representa algo más que un nivel de vida privado más alto. Exige la máxima disponibilidad de la infraestructura social pública para actuar en beneficio del bien común y para mantener el medio incontaminado. Por lo que respecta al individuo, calidad de la vida puede significar sentido del deber, espíritu de trabajo y de servicio, sociabilidad y optimismo. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

➤ Caliza.

Roca sedimentaria (generalmente de origen orgánico) carbonatada que contiene al menos un 50% de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), y que puede estar acompañada de dolomita, aragonito y siderita; de color blanco, gris, amarilla, rojiza, negra; y textura granular fina a gruesa, bandeada o compacta, a veces contiene fósiles. Minerales esenciales: calcita (más del 50%). Minerales accesorios: dolomita, cuarzo, goethita (limonita), materia orgánica. Las calizas tienen poca dureza y en frío reportan efervescencia (desprendimiento burbujeante de  $\text{CO}_2$ ) bajo la acción de un ácido diluido. Contienen frecuentemente fósiles, por lo que son de gran importancia en estratigrafía, así como diversas aplicaciones industriales. Usos: el mayor consumo de caliza se efectúa en la fabricación de cementos; es materia prima de la industria química (grandes masas de caliza se utilizan anualmente como fundentes en la extracción de diversas menas metálicas). La caliza de grano fino se emplea en litografía y se denomina caliza litográfica. Calizas de distintos tipos se emplean en construcción, tanto como piedra estructural, como para fachadas y recubrimientos sobre paredes de cemento, y como piedra de acabado para la ornamentación interior. También se usa en la producción de azúcar y en la industria del vidrio. (MINISTERIO, 2003)

➤ Cemento.

Material aglutinante con finura similar al talco que tiene a la caliza como materia prima base, formado por diversos cristales y vidrios que al mezclarse con el agua producen una jalea de hidrosilicatos de calcio, excelente pegadura capaz de unir fragmentos pétreos para formar un conglomerado moldeable, durable, resistente e impermeable a voluntad, adaptable a diversos usos. Tipos: 1. Tipo I, cemento de "tipo general", calificado para un amplio rango de usos, principalmente para la construcción. 2. Tipo II, cemento calificado para la construcción de concreto en general, el cual requiere moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. 3. Tipo III, cemento desarrollado principalmente para usos de resistencia elevada. 4. Tipo IV, cemento desarrollado para usos en los que el bajo calor de hidratación es deseado en

forma particular. 5. Tipo V, cemento desarrollado para usos que requieren alta resistencia a los sulfatos. Otros tipos de cemento son: 7. Cemento natural, fundido a más bajas temperaturas que el cemento portland y manufactura bajo especificaciones menos rígidas. 8. Cemento para pozos petroleros, diseñado para usarse en condiciones altas de temperatura y presión. 9. Cemento blanco, elaborado por materias primas con bajo contenido de hierro. 10. Cemento portland puzolánico, contiene una adición de material silíceo activo el cual se combina con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , liberado durante la hidratación del cemento. 11. Cemento plástico y a prueba de calcio (predominantemente mono aluminato de calcio) para usos refractarios. 12. Cemento para albañilería, contiene tierra fina de caliza y otros ingredientes, usado para trabajos de albañilería. 13. Cemento portland de escoria de alto horno, producido por ciertas cantidades de esmerilado, escoria adecuada de alto horno con cemento clinker portland. 14. Cemento de escoria, hecho de escoria granulada de alto horno y cal hidratada. (MINISTERIO, 2003)

➤ Consenso.

Acuerdo producido por consentimiento entre todos los miembros de un grupo o entre varios grupos. ("Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario," n.d.)

Según Romero (2015) "la búsqueda de consenso tal como lo expresan (F J Cabrerizo, Chicalana, & Herrera-viedma, 2013) presenta retos y preguntas abiertas que deben tratarse en las siguientes temáticas: (1) el asesoramiento, (2) modelos de consenso basados en la confianza, (3) visualización y verbalización del proceso, (4) importancia de los expertos, (5) contextos dinámicos de decisión, y (6) persuasión".

➤ Contaminación.

Alteración de un hábitat por incorporación de sustancias extrañas capaces de hacerlo menos favorable para los seres vivos que lo pueblan". Citando a Diario oficial, 1982 (70) p. 24 "la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que perjudique o resulte nocivo al a vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna o degraden la calidad del aire, del agua, del agua o de los bienes y recursos en general. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

1. Cualquier alteración física, química o biológica del aire, el agua o la tierra que produce daños a los organismos vivos. 2. Descarga artificial de sustancias o energía en una concentración tal que produce efectos perjudiciales sobre el medio, incluido el hombre. Puede tener origen natural, pero, por lo general, es antrópico. Como producto

de la actividad agrícola se puede presentar como residuos de pesticidas o sus metabolitos o acumulación de fertilizantes. Otras actividades industriales y urbanas promueven la acumulación de metales pesados, residuos radiactivos y de hidrocarburos. Su presencia en el suelo implica la probabilidad de ser fijados por las plantas y de penetrar la cadena trófica, hasta llegar al hombre. (MINISTERIO, 2003)

➤ Decisión.

Determinación, resolución que se toma o se da en una cosa dudosa. (“Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario,” n.d.)

➤ Deforestación.

Acción o efecto de deforestar o talar árboles en determinada extensión bajo bosque. “destrucción de los bosques, que puede conducir a una degradación profunda de las condiciones del medio ambiente: erosión de los suelos (susceptibles, en casos extremos, especialmente en regiones tropicales, de llegar a convertirlos en suelos estériles), perturbación del régimen de las aguas de las cuencas hidrográficas. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

➤ Desarrollo sostenible.

1. Desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida, a la productividad de las personas y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades, es decir, fundado en medidas apropiadas para la preservación de la integridad de los ecosistemas, la protección del ambiente y el aprovechamiento de los elementos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras. 2. Es el mejoramiento de la calidad de vida humana dentro de la capacidad de carga de los ecosistemas; implican la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones. (MINISTERIO, 2003)

➤ Desertificación.

Acción de degradar el ecosistema transformándolo en un desierto, provocada por la actividad de los seres humanos. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

➤ Ecosistema.

Sistema abierto integrado por todos los organismos vivos (incluyendo al hombre) y los elementos no vivientes de un sector ambiental definido en el tiempo y en el espacio, cuyas propiedades globales de funcionamiento y autorregulación derivan de la interacción entre sus componentes, tanto pertenecientes a los sistemas naturales como aquellos modificados u organizados por el hombre mismo. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

➤ Erosión.

Degradación, desprendimiento y arrastre de sólidos desde la superficie terrestre por la acción del agua, viento, gravedad, hielo u otros. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

1. Fenómeno de descomposición y desintegración de materiales de la corteza terrestre por acciones mecánicas o químicas. 2. Pérdida física de suelo transportado por el agua o por el viento, causada principalmente por deforestación, laboreo del suelo en zonas no adecuadas, en momentos no oportunos, con las herramientas impropias o utilizadas en exceso, especialmente en zonas de ladera, con impactos adversos tan importantes sobre el recurso como la pérdida de la capa o del horizonte superficial con sus contenidos y calidades de materiales orgánicos, fuente de nutrientes y cementantes que mantienen una buena estructura y, por lo tanto, un buen paso del agua y el aire. En la minería la erosión hídrica es la más importante y puede ser laminar, en regueros o surcos y en barrancos o cárcavas. 3. Conjunto de procesos externos (exógenos) que mediante acciones físicas y químicas (como agua, hielo, viento), degradan las formas creadas por los procesos endógenos. (MINISTERIO, 2003)

➤ Excavación.

1. Proceso de remoción de material de suelo o roca de un lugar y transportarlo a otro. La excavación incluye operaciones de profundización, voladura, ruptura, cargue y transporte; en superficie o bajo tierra. 2. Pozo, fosa, hoyo o cualquier corte resultante de una excavación. (MINISTERIO, 2003)

➤ Explotación (industria minera).

Minerales, así como la actividad orientada a la preparación y el desarrollo de las áreas que abarca el depósito mineral. 2. Es la aplicación de un conjunto de técnicas y normas geológico minera y ambiental, para extraer un mineral o depósito de carácter

económico, para su transformación y comercialización. 3. El Código de Minas (Artículo 95 de la Ley 685 de 2001) define la explotación como "el conjunto de operaciones que tienen por objeto la extracción o captación de los minerales yacientes en el suelo o subsuelo del área de la concesión, su acopio, su beneficio y el cierre y abandono de los montajes y de la infraestructura". 3. Etapa de la fase de Producción del Ciclo Minero. Durante esta etapa se recuperan las inversiones realizadas, se extraen y procesan los materiales de interés económico, se readecuan los terrenos intervenidos y se conduce la mina, lenta y progresivamente, apoyada por un riguroso plan de mitigación ambiental, hacia su fin. Así como algunas actividades de prospección se pueden traslapar con la exploración y de hecho en muchos casos es muy difícil distinguirlas; durante la etapa de desarrollo se realizan algunas tareas de explotación y durante la explotación se ejecutan operaciones de desarrollo, esto principalmente por razones técnicas y económicas, ya que sería imposible pretender desarrollar una mina de una sola vez, sin ejecutar actividades que permitan su mantenimiento y explotación. Durante esta etapa se ejecutan una serie de actividades y ciclos que permiten que la mina permanezca en operación y producción. Estas son denominadas operaciones unitarias y se clasifican entre las ejecutadas para desprender el mineral - Arranque-; para cargarlo -Cargue-; y para transportarlo hasta la planta o sitio de mercado - Transporte-. Estas operaciones se apoyan en las denominadas operaciones auxiliares. (MINISTERIO, 2003)

➤ Fauna.

Listado taxonómico de las especies animales presentes en un área". "Conjunto de especies animales que habitan en determinados ambientes y territorios; su masa total y la densidad absoluta y relativa dependen tanto de factores abióticos (temperatura, humedad, etc.), como biológicos (p. ej., la flora). (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

➤ Flora.

Suma total de todas las clases de plantas existentes en un área específica, en un momento dado". "se entiende por flora el conjunto de especies e individuos vegetales, silvestres o cultivados, existentes en el territorio nacional. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

➤ Gas.

Término usado por los mineros para referirse a un aire impuro, especialmente con combinaciones explosivas. 2. Gases combustibles (metano), mezcla de aire y gases

combustibles, u otras mezclas de gases explosivos que se encuentran en las minas. (MINISTERIO, 2003)

➤ Impacto ambiental.

“Se dice que hay un impacto ambiental cuando una acción o actividad produce alteración en el medio o en algunos de los componentes del medio”. (Vicente Sanchez, 1989).

Cualquier acción en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad. (“Decreto 1220 de 2005,” 2005)

➤ Importancia de los expertos.

Según (Fu, Huhns, & Yang, 2014) citando a (Parreiras, Ekel, Martini, & Palhares, 2010) “cuando se trata con decisiones grupales, es crucial considerar los diferentes tipos de incertidumbre, los cuales son según (Lu, Zhang, Ruan, & Wu, 2007): (1) las preferencias del decisor sobre las alternativas, (2) el rol del decisor (es difícil asignar un peso a la opinión de cada experto) y (3) la importancia de cada criterio. La importancia de los expertos trata con el segundo tipo de incertidumbre. Según (F J Cabrerizo et al., 2013) en la toma de decisiones grupales, hay muchas situaciones donde el conocimiento de los expertos no es igualmente importante (Chiclana, Herrera-Viedma, Herrera, & Alonso, 2007; Herrera, Herrera-viedma, & Verdegay, 1998). Para modelar estas situaciones el enfoque más común en la literatura consiste en la asignación de un peso a los expertos en el grupo. Los modelos de consenso han tomado en cuenta la heterogeneidad de los expertos cuando agregan sus opiniones para obtener la preferencia colectiva pero no cuando asesoran a los expertos cómo cambiar sus preferencias para aumentar el nivel de consenso. Es por esto que estos autores proponen “es importante desarrollar modelos de consenso que tomen en cuenta los pesos de los expertos (su importancia), no solamente agregando sus preferencias sino también asesorando como cambiar sus preferencias”. Acorde a (Fu et al., 2014) en el análisis de decisiones en grupo, el consenso generalmente ha sido alcanzado por una de dos estrategias, la modificación de las evaluaciones de los expertos y el ajuste de los pesos de los expertos. En la presente propuesta se plantea utilizar estos dos enfoques mediante la combinación de métodos multicriterio con métodos de otras disciplinas tal como lo sugieren (Kilgour & Eden, 2010) en la sección de tendencias en decisiones grupales presentada en el acápite 8.2”.



Romero (2015) “Recientemente algunos autores (Aragonés-beltrán, García-Melón, & Estruch-Guitart, 2015; J Wu & Chiclana, 2014; Jian Wu, Chiclana, & Herrera-Viedma, 2015) han abordado el estudio de la importancia de los expertos y la influencia entre ellos (Aragonés-beltrán et al., 2015) estudia la influencia entre decisores con las medidas de cercanía propias del análisis de redes sociales (SNA por sus siglas en inglés para Social Network Analysis). Por otra parte (J Wu & Chiclana, 2014; Jian Wu et al., 2015) propone el análisis de redes sociales para medir consensos y confianza entre los decisores”.

➤ Licencia ambiental.

1. Es la autorización que otorga la autoridad competente a una persona natural o jurídica, para la ejecución de un proyecto, obra o actividad. En ella se establecen los requisitos, las obligaciones y las condiciones que el beneficiario debe cumplir para prevenir, mitigar o corregir los efectos indeseables que el proyecto, obra o actividad autorizada pueda causar en el ambiente. 2. Autorización que otorga la autoridad competente para la construcción, el montaje, la explotación objeto del contrato y el beneficio y para las labores adicionales de exploración durante la etapa de explotación. Se otorga de manera global y comprende además los permisos, autorizaciones y concesiones de carácter ambiental para hacer uso de los recursos necesarios en el proyecto minero. (MINISTERIO, 2003)

➤ Lixiviación.

Llamamos lixiviación al arrastre, que, hacia las profundidades del suelo, y bajo la acción infiltrante del agua lluvia, de iones minerales solubles y finar partículas de arcillas, que nunca van muy lejos, acumulándose a cierta distancia de la superficie en el horizonte de acumulación (...), compacto y de textura arcillosa, capaz a veces de organizarse en una capa impermeable. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

Proceso hidrometalúrgico mediante el cual se realiza la disolución selectiva de los diferentes metales que contiene una mena, por medio de una solución acuosa que contiene un reactivo químico apropiado. (MINISTERIO, 2003)

➤ Medio ambiente.

Es todo aquello que rodea al ser humano y que comprende: elementos naturales, tanto físicos como biológicos; elementos artificiales (las tecno estructuras); elementos sociales, y las interacciones de todos estos elementos entre sí”. “La suma total de

todas las condiciones externas, circunstancias o condiciones físicas y químicas que rodean a un organismo vivo o grupo de estos, y que influyen en el desarrollo de actividades fisiológicas o psicofisiológicas de los mismos. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

Conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas que rodean a un organismo. (MINISTERIO, 2003)

➤ Mina.

1. Excavación que tiene como propósito la explotación económica de un yacimiento mineral, la cual puede ser a cielo abierto, en superficie o subterránea. 2. Yacimiento mineral y conjunto de labores, instalaciones y equipos que permiten su explotación racional. 3. El Código de Minas define "mina" como el yacimiento, formación o criadero de minerales o de materias fósiles, útiles y aprovechables económicamente, ya se encuentre en el suelo o el subsuelo. (MINISTERIO, 2003)

➤ Mineral.

1. Sustancia homogénea originada por un proceso genético natural con composición química, estructura cristalina y propiedades físicas constantes dentro de ciertos límites. 2. Individuos minerales que se caracterizan por una estructura cristalina determinada y por una composición química, que pertenecen a un rango de variaciones continuas y que se encuentran en equilibrio bajo unas condiciones termodinámicas determinadas. 3. El Código de Minas define el mineral como la sustancia cristalina, por lo general inorgánica, con características físicas y químicas propias debido a un agrupamiento atómico específico. (MINISTERIO, 2003)

➤ Minería.

Ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento y la explotación de yacimientos minerales. Estrictamente hablando, el término se relaciona con los trabajos subterráneos encaminados al arranque y al tratamiento de una mena o la roca asociada. En la práctica, el término incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie. La minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre. Casi desde el principio de la Edad de Piedra, hace 2,5 millones de años o más, viene siendo la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas. Se puede decir que la minería surgió cuando los

predecesores del Homo sapiens empezaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas. Al principio, implicaba simplemente la actividad, muy rudimentaria, de desenterrar el sílex u otras rocas. A medida que se vaciaban los yacimientos de la superficie, las excavaciones se hacían más profundas, hasta que empezó la minería subterránea. La minería de superficie se remonta a épocas mucho más antiguas que la agricultura. (MINISTERIO, 2003)

➤ Modelo matemático.

Según el libro Fundación Polar el mundo de las matemáticas Modelos matemáticos “Una definición de modelo matemático es la siguiente: un modelo matemático es una construcción matemática abstracta y simplificada relacionada con una parte de la realidad y creada para un propósito particular. Así, por ejemplo, un gráfico, una función una ecuación pueden ser modelos matemáticos de una situación específica”. (Modelos matemáticos, 2002, P.130).

➤ Persuasión (Influencia social):

Según Romero, 2015 citando a (F J Cabrerizo et al., 2013) “una de las tareas del moderador en los procesos de consenso es asesorar a los expertos en cómo pueden cambiar sus opiniones buscando incrementar el nivel de consenso, lo cual es una tarea complicada. Por lo cual estos mismos autores sugieren utilizar herramientas propias de la psicología para influenciar a los expertos a cambiar sus actitudes, creencias o comportamientos mediante técnicas representadas en seis grupos: (1) Prueba social: la gente hará lo que ve que hacen los demás, (2) autoridad: las personas tienden a obedecer a las figuras de autoridad, (3) vinculación: las personas son fácilmente persuadidas por otras personas cercanas, (4) escasez: los elementos o recursos escasos son más demandados, (5) consistencia: si la gente se compromete verbalmente o por escrito a alcanzar una meta, son más propensos a cumplir este compromiso, y (6) reciprocidad: la gente tiende a devolver un favor”.

➤ Recursos naturales.

Denominación que se aplica a la totalidad de las materias primas y de los medios de producción aprovechables en la actividad económica del hombre”. “Riquezas existentes en forma natural en un territorio y sus plataformas y aguas continentales, susceptibles de ser explotadas; se les distingue en: renovables, que pueden ser conservados o renovados continuamente mediante su explotación racional (tierra agrícola, agua, bosques, fauna, etc.) y no renovables, aquellos que su explotación

conlleva su extinción (minerales, energéticos de origen mineral, etc.). (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

Son elementos de la naturaleza susceptibles de ser utilizados por el hombre para la satisfacción de sus necesidades o intereses económicos, sociales y espirituales. Los recursos renovables se pueden renovar a un nivel constante. Los recursos no renovables son aquellos que forzosamente perecen en su uso. (MINISTERIO, 2003)

➤ Uso del suelo.

Disponibilidad del suelo para una serie de posibles usos, que puede ser ordenado y distribuidos de acuerdo con un plan, o de manera espontánea. Término que en planeación urbana designa el propósito específico que se da al a ocupación o empleo de un terreno. (Sánchez, V. y Guiza, 1989)

### **5.3. Método multicriterio (MCDM)**

Dentro del entorno empresarial, científico, educativo e investigativo se cuenta con una herramienta basada en la decisión multicriterio MCDM (Multiple Criteria Decision Making), cuyo objetivo es ayudar a la toma de decisiones en razón a un criterio previamente definido, dicho criterio dependerá de una serie de alternativas. De acuerdo a Zanazzi, *"Todo problema donde sea preciso seleccionar una alternativa como la más conveniente, ordenar un conjunto de alternativas en función de su nivel de preferencias o clasificarlas conforma a una cierta cantidad de criterio, es este el interés de la decisión multicriterio discreta (DMD)"* (Zanazzi, 2003), por ejemplo: El jefe de un área desea realizar la contratación de personal para un puesto de trabajo, su criterio para la selección será la capacidad de adaptación al cambio, a lo cual se tienen cinco candidatos "es decir cinco alternativas", de acuerdo a determinadas pruebas el deberá seleccionar la mejor alternativa que cumpla con su criterio de forma asertiva.

*"Bajo el término `` análisis multicriterio " dos enfoques básicos se han desarrollado en materia de: (a) un conjunto de métodos o modelos que permitan la agregación de múltiples criterios de evaluación para elegir una o más acciones de un conjunto A, (b) una actividad de ayuda a la decisión de un tomador de decisiones bien definido (individuo, organización, etc.)."* (Jacquet-Lagrèze & Siskos, 2001)

Barba, Romero, *"El problema general de la DMD, independientemente de la forma en que se miden los criterios y alternativas, es el seleccionar aquella alternativa que mejor satisfaga las preferencias del decisor"*. (Barba-Romero, 1987)

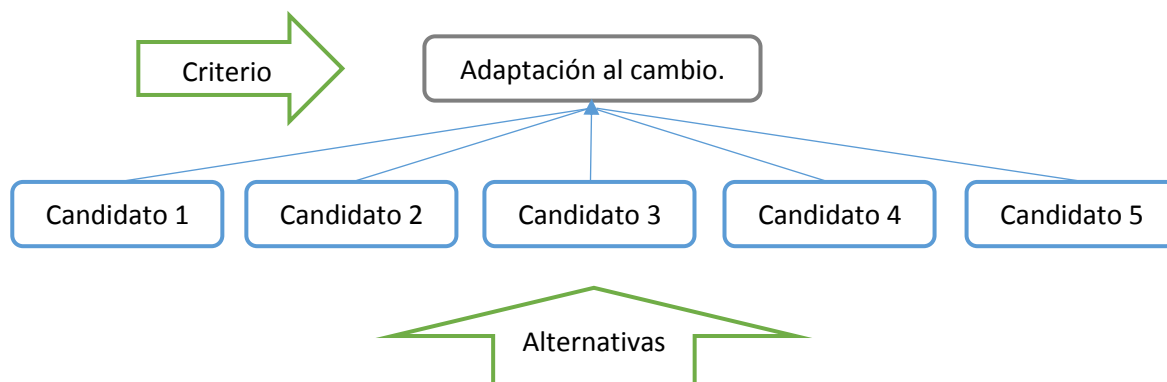


Imagen 8. Criterio y Alternativas.

Ahora bien, en la imagen 8 se ilustra la decisión basada en un solo criterio, sin embargo, la realidad es que se pueden presentar varios criterios para un mismo objetivo, para nuestro caso anterior el objetivo es contratar personal para un puesto de trabajo, ¿qué pasaría si no solo se tiene como criterio la adaptación al cambio?, sino que se adicionara la tolerancia al trabajo bajo presión y razonamiento matemático, estaríamos hablando que en función del objetivo se deben cumplir con tres criterios distintos y con cinco alternativas de selección, es aquí donde entra el nombre de “multicriterio” (ver **imagen 9**). En ciertas ocasiones los criterios pueden entrar en conflicto, ejemplo: Una empresa desea ampliar su planta, para lo cual ha definido ciertos criterios “Mayor productividad de la planta, bajos costos de inversión, baja contaminación, alto capital humano pero a bajos costos”, como podemos apreciar estos criterios en cierta forma están en conflicto ya que una ampliación a una planta requiere altos costos, de igual forma que contar con alto capital humano en términos de competencia puede llegar a ser costoso, lo que dificulta el poder llegar a una decisión, para lo cual el modelo que se elabore deberá poderse ajustar a estos requerimientos. Bellver y Martínez citando a Moreno-Jiménez (1996), “*se entiende por decisión multicriterio, el conjunto de aproximaciones, métodos, modelos, técnicas y herramientas dirigidas a mejorar la calidad integral de los procesos de decisión seguidos por los individuos y sistemas, esto es a mejorar la efectividad, eficacia de los procesos de decisión y a incrementar el conocimiento de los mismos (valor añadido del conocimiento)*”. (Bellver Aznar & Martínez Guijarro, 2012)

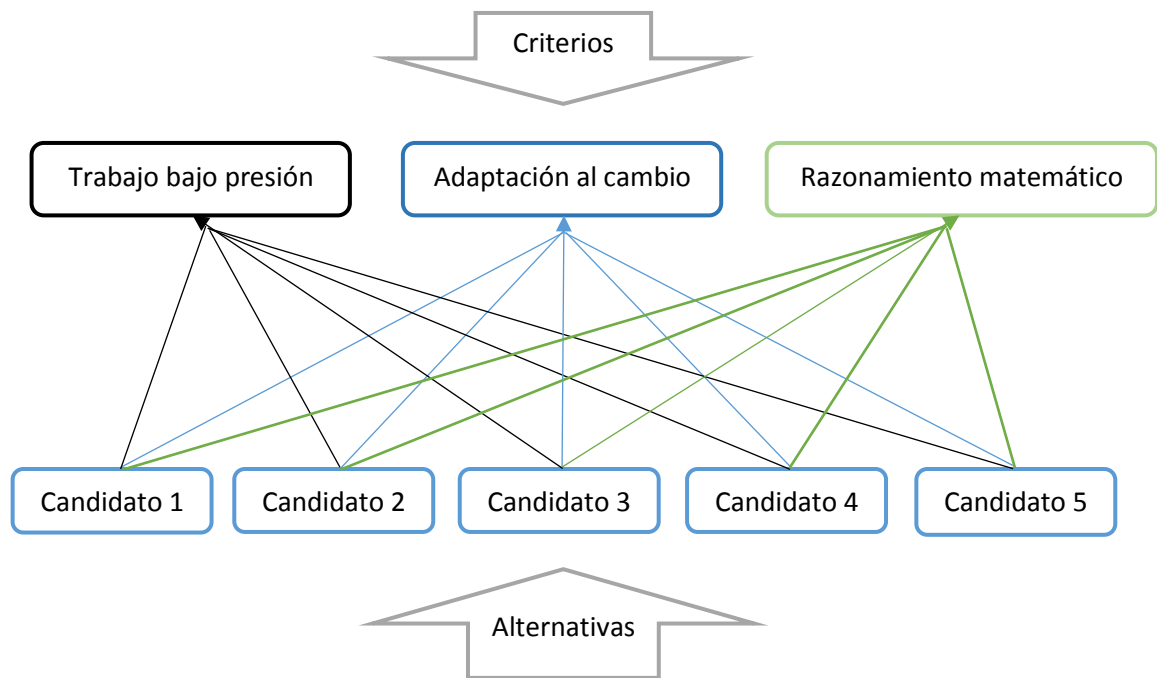


Imagen 9. Decisión multicriterio.

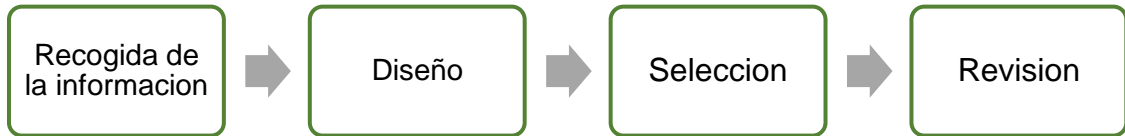
“Dentro de la decisión multicriterio hay dos clasificaciones entre las que se encuentran los métodos multicriterio continuo y discreto.

- El análisis continuo toma aquellos problemas en el cual el decisor toma en cuenta un conjunto de soluciones factibles formado por infinitos puntos. En este grupo se encuentran la programación multiobjetivo, la programación por compromiso y la programación por metas.
- El análisis discreto comprende casos donde el número de alternativas a considerar por el decisor es finito y normalmente no muy elevado. En este grupo se encuentran métodos como el Electre, el Promethee, el proceso analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) y el proceso Analítico en Red (Analytic Network Process, ANP).

También se encuentran métodos de ponderación de variables o determinación de los pesos como son los métodos de la Entropía, CRITIC, ordenación simple la tasación simple, el de las comparaciones sucesivas y los mismos AHP y ANP del análisis discreto”. (Bellver Aznar & Martínez Guijarro, 2012)

La Decisión Multicriterio Discreta (DMD) tal como lo expresa Sergio Barba, “supone la existencia de un decisor. Este decisor es evidentemente un elemento del modelo, y por lo tanto una abstracción. El termino corresponderá en la práctica a una única persona enfrenta a una decisión, o a un grupo de individuos. El vocablo decisor puede así mismo acoger a sujetos encargados de analizar una decisión, aun cuando esta se

les escape o sea tomada posteriormente según procedimientos que ignoran o que incluso desapruében” (Sergio Barba-Romero;Pomerol, 1997). De acuerdo a Simón (1977), se tienen cuatro fases para la toma de decisiones (Ver **imagen 10**).



*Imagen 10. Fases para la toma de decisiones.*

Recogía de la información, implica todas las actividades que tienen que ver con la recolección de la información correspondiente a los criterios y las alternativas que son sometidas a la decisión. El diseño, es la determinación precisa de los criterios y de sus escalas de medida, y en la construcción completa del conjunto de elección, es decir las alternativas, con sus respectivas evaluaciones para cada uno de los criterios prefijados. La selección, es el procedimiento de elegir finalmente las alternativas, aun cuando es frecuente que la elección definitiva se produzca externamente al análisis, en momento e instancias que se encuentran fuera del campo del análisis multicriterio y de sus expertos. En cuanto a la revisión de las decisiones, raramente se lleva a cabo un estudio formalizado, tanto en el multicriterio como en otros campos de la ayuda a la toma de decisiones, aun cuando este proceso existe probablemente en la mente de los decisores. En lo que consiste a esta fase, las posibilidades de la ayuda a la decisión multicriterio no han sido verdaderamente explotadas. (Sergio Barba-Romero;Pomerol, 1997)

Todo esto supone la búsqueda de una solución adecuada desde la aplicación científica de los métodos multicriterio, así mismo, se cuenta con el hecho que se dispone con la información perfecta sobre las alternativas, lo cual da a entender que el método debe tener un estudio minucioso de la información a fin de no llegar a conclusiones desviadas de los objetivos inicialmente planteados, a fin de asegurar la aplicación correcta de los métodos, se objeta el que (1) la información sea “válida”, (2) que exista una “modelación”, (3) que la solución sea “estable”.

Barba, Romero menciona “Descartada en la DMD la posibilidad de alcanzar una solución óptima (el mismo concepto optimo carece de sentido en todo el ámbito de la Decisión multicriterio; véase Keen (1997) y Roy (1981) a este respecto), hemos de

*concentrarnos con la “mejor” decisión para significar que su definición está abierta a diversas interpretaciones más o menos racionales”. (Barba-Romero, 1987)*

Para finalizar Caballero y Romero realizan una observación con respecto a los paradigmas que se tienen frente a la decisión multicriterio *“El paradigma multicriterio nos recuerda a ese gran carácter de la literatura, el falstaffiano Ignatius J Reilly. En efecto, su “vestimenta”, sus “opiniones” son algo abstrusas, pero son aceptables según las normas teológicas y geométricas (es decir, según el comportamiento real de los seres humanos) y sugiere*

*¡Una rica vida interior! Tal vez el paradigma multicriterio no haya logrado alcanzar plenamente sus metas-bastante ambiciosas por otra parte- ahora bien, se trata de un tema crucial en el que, quedando mucho por hacer, hemos depositado grandes esperanzas intelectuales”. (Caballero & Romero, n.d.)*

#### **5.4. Métodos multicriterio Discretos**

Los métodos que se tratan en este apartado son aquellos que tienen que ver con la metodología que se aplicara en el caso de estudio, la selección de los métodos discretos dependió de la clasificación anteriormente mencionada, en la que se definió que los métodos discretos son aquellos que toman un número finito de criterios.

La dinámica de la explicación de los métodos acá mencionados es a manera de contextualización y familiarización con la metodología aplicada, no se pretende ahondar en cada uno de los métodos. Posteriormente se realizará la aplicación del caso de estudio según el modelo que se adecue de mejor manera con el fin de cumplir con los objetivos planteados de la investigación tratada en este documento.

##### **5.4.1. Normalización**

Según Jerónimo Aznar (Bellver Aznar & Martínez Guijarro, 2012), los métodos multicriterio requieren que la información se trabaje bajo iguales parámetros de calificación de variables o unidades de medida, por lo que se hace necesario aplicar el concepto de normalización. En determinados casos los criterios pueden establecerse en diferentes unidades de medida “Kilómetros, metros, centímetros, etc.”, lo cual no hace que dé a lugar una comparación fiable y dé como resultados sesgos en la información final.



Existen distintas formas para realizar la normalización de los datos entre las que se encuentran:

➤ **Normalización por la suma**

Consiste en usar la suma total de todos los criterios y dividir por cada criterio a normalizar. Este método permite conservar la proporcionalidad de los elementos normalizados.

Su fórmula se representa de la siguiente manera:

i \ j	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	$X_{11}$	$X_{21}$	$X_{31}$
Alternativa B	$X_{12}$	$X_{22}$	$X_{32}$
Alternativa C	$X_{13}$	$X_{23}$	$X_{33}$
Alternativa D	$X_{14}$	$X_{24}$	$X_{34}$

Tabla 5. Matriz  $X_{ij}$ .

$$x_{ij} \text{ Normalizado} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$$

Su resultado se encuentra en un intervalo de entre 0 y 1.

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \text{ si } x_{ij} > 0$$

Ejemplo. Dados los siguientes valores se realiza normalización por la suma.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	223	299	404
Alternativa B	190	308	420
Alternativa C	202	330	399
Alternativa D	198	260	428
Suma de criterios	813	1197	1651

Tabla 6. Ejemplo normalización por la suma.

Como se puede apreciar se realizó la suma del valor de cada criterio, siendo para el criterio 1 de 813, criterio 2 de 1197 y el criterio 3 de 1651.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	0,2743	0,2498	0,2447
Alternativa B	0,2337	0,2573	0,2544
Alternativa C	0,2485	0,2757	0,2417
Alternativa D	0,2435	0,2172	0,2592

Tabla 7. Resultado ejemplo normalización por la suma.

De acuerdo a la formula y luego de realizar la suma de los criterios, ahora se divide cada valor en la suma de cada criterio, que para el caso del “criterio 1 – alternativa A”  $223/813 = 0,2743$ , “criterio 1 – alternativa B”  $190/813 = 0,2337$  Y se continua de esta manera con cada uno de los elementos.

De acuerdo con el método todos los valores están entre 0 y 1, adicional a esto se puede ver que los valores no tienen mayores distancias entre sí.

➤ **Normalización por el ideal o por el mayor elemento**

En este caso se debe dividir cada elemento de la columna por el valor más alto de dicha columna. Es llamado ideal dando a entender que es el valor preferido de la columna.

La fórmula está dada por:

$$x_{ij} \text{ Normalizado} = \frac{x_{ij}}{\text{Max } x_{ij}}$$

Su resultado se encuentra en un intervalo de entre 0 y 1. Y también se mantiene proporcionalidad.

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \text{ si } x_{ij} > 0$$

Ejemplo. Dados los siguientes valores se realiza normalización por el ideal.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	223	299	404
Alternativa B	190	308	420
Alternativa C	202	330	399
Alternativa D	198	260	428
Máximo	223	330	428

Tabla 8. Ejemplo normalización por el ideal.

En este caso se ha seleccionado el valor mayor de cada columna e igual que en el método anterior se divide entre cada valor de la columna.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	1,0000	0,9061	0,9439
Alternativa B	0,8520	0,9333	0,9813
Alternativa C	0,9058	1,0000	0,9322
Alternativa D	0,8879	0,7879	1,0000

Tabla 9. Resultado ejemplo normalización por el ideal.

Nuevamente los valores normalizados se encuentran entre 0 y 1.

#### ➤ Normalización por el rango

Este se realiza dividiendo cada valor restando el valor mínimo de la columna por el rango el máximo menos el mínimo. Este método no mantiene la proporcionalidad.

Su fórmula es:

$$x_{ij} \text{ Normalizado} = \frac{x_{ij} - \min_{i=1 \dots n} x_{ij}}{\max_{i=1 \dots n} x_{ij} - \min_{i=1 \dots n} x_{ij}}$$

Sus valores están  $0 \leq x_{ij} \leq 1$ , siempre uno de los valores da como resultado 0 y 1.

Ejemplo. Dados los siguientes valores se realiza normalización por el rango.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	223	299	404
Alternativa B	190	308	420
Alternativa C	202	330	399
Alternativa D	198	260	428

Máximo	223	330	428
Mínimo	190	260	399

Tabla 10. Ejemplo normalización por el rango.

Como lo menciona el método se deben seleccionar los valores mayores y menores de cada columna.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	1,0000	0,5571	0,1724
Alternativa B	0,0000	0,6857	0,7241
Alternativa C	0,3636	1,0000	0,0000
Alternativa D	0,2424	0,0000	1,0000

Tabla 11. Resultado ejemplo normalización por el rango.

A continuación, se aplica la fórmula que para este caso sería:

$$(223-190) / (223-190) = 1,000$$

De esta forma se continúa con el método en cada uno de los valores.

Este método es utilizado en CRITIC, mientras que los otros dos aplican para los demás métodos multicriterio.

Ahora veremos el cálculo de las proporcionalidades, para lo cual se requiere tomar el valor de alguna de las alternativas y dividir entre los demás valores de la columna.

	Criterio 1	Proporción	Nor por la suma	Proporción	Nor por ideal	Proporción	Nor por rango	Proporción
Alternativa A	223	1	0,2743	1	1	1	1	1
Alternativa B	190	0,8520	0,2337	0,8520	0,8520	0,8520	0,0000	0
Alternativa C	202	0,9058	0,2485	0,9058	0,9058	0,9058	0,3636	0,3636
Alternativa D	198	0,8879	0,2435	0,8879	0,8879	0,8879	0,2424	0,2424

Tabla 12. Proporcionalidad ejemplo.

Para el cálculo se tomó la alternativa A-D del criterio 1.

- ✓ Proporción alternativa A:  $223/223 = 1$
- ✓ Proporción alternativa B:  $190/223 = 0,8520$
- ✓ Proporción alternativa C:  $202/223 = 0,9058$
- ✓ Proporción alternativa D:  $198/223 = 0,8879$

Esto se hizo con cada una de las tres normalizaciones explicadas anteriormente, y como se puede apreciar en la tabla la proporción del criterio 1, la normalización por la suma y la normalización por el ideal son proporcionales, mientras que la proporción de la normalización por el rango no lo es ya que las distancias entre cada alternativa son altas.

### 5.4.2. Agregación de vectores propios

Al momento de realizar una valoración podemos consultar a diferentes expertos, y con las respuestas de cada uno de los expertos se procede a realizar una matriz de comparación pareada la cual veremos en mayor detalle en el método AHP. Es necesario calcular un único vector propio que sea el resultado de la agregación de todos los vectores propios, para lo cual se puede realizar el cálculo por medio de la media geométrica.

En el ejemplo se asumirá que los valores dados por los expertos ya se encuentran como vectores propios “reitero que este cálculo de vectores propios se explicara posteriormente”, el cálculo de la media geométrica se realizara por medio de Excel utilizando la formula Media.Geom.

	Vectores Propios					Agregación	Nor por la suma
Experto 1	0,3976	0,2057	0,1556	0,0895	0,0293	0,1272	0,1574
Experto 2	0,0625	0,4055	0,1796	0,3773	0,2296	0,2085	0,2579
Experto 3	0,2085	0,0317	0,4583	0,2553	0,5334	0,2104	0,2603
Experto 4	0,1166	0,0808	0,0308	0,1166	0,0743	0,0759	0,0939
Experto 5	0,2149	0,2763	0,1757	0,1613	0,1335	0,1863	0,2305
						0,8084	1

Tabla 13. Ejemplo Agregación.

Los valores representan las calificaciones dadas por un grupo de expertos en unos criterios, luego por medio de la media geométrica se realizó la agregación y por último se realizó la normalización de cada agregación por medio del método de la suma.

### 5.4.3. Multiplicación de matrices

La multiplicación de matrices es una operación que se usará en el proceso de AHP, a continuación, se dará un ejemplo:

	Matriz 4x5					Matriz 5x1	Matriz producto
Experto 1	0,2701	0,8180	0,5611	0,7611	0,4599	0,0396	1,0885
Experto 2	0,9996	0,8458	0,3035	0,8183	0,7813	0,7267	1,1583
Experto 3	0,3926	0,1658	0,3118	0,5876	0,6302	0,1476	0,5187
Experto 4	0,6659	0,9350	0,8136	0,5362	0,1864	0,4660	1,0944
						0,0997	

Tabla 14. Resultado ejemplo multiplicación de matrices.

De acuerdo a la (tabla 14) podemos ver el resultado de la multiplicación de las matrices en el cuadro llamado matriz producto, se debe recordar que para que la multiplicación de matrices se pueda realizar, el número de columnas de la matriz 1 debe ser igual al número de filas de la matriz 2, siendo así, una multiplicación de 4x5 y

5x1 que dará como resultado una matriz de 4x1 (Matriz producto). Esta operación se realizó por medio de Excel usando la función MMULT.

#### 5.4.4. Suma ponderada

La suma ponderada también será un elemento que se utilizará en los métodos AHP y ANP, esta permite ponderar una serie de alternativas en función de un grupo de criterios. Para lo cual el grupo de expertos consideran una calificación entre un rango de datos -llamados pesos-, calificación que se le dará a cada criterio en según se considere su importancia.

$$Wi = \sum_{j=1}^n (wj * xij)$$

- **Wi** = Ponderación final obtenida de cada alternativa.
- **Wj** = Peso de cada variable.
- **Xij** = Valor de cada variable para cada alternativa.

Como ejemplo se tomará una tabla cuyos datos ya están normalizados por la suma, y los pesos estarán representados de 0 a 5, siendo cero el menos importante y 5 el más importante.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	0,2197	0,1997	0,1960
Alternativa B	0,1872	0,2057	0,2038
Alternativa C	0,1990	0,2204	0,1936
Alternativa D	0,1951	0,1737	0,2077
Alternativa E	0,1990	0,2004	0,1989
PESOS	3	2	5

*Tabla 15. Ejemplo suma ponderada.*

De acuerdo a la tabla 15, se asignaron pesos en cada criterio “según juicio del experto”, siendo el criterio 2 el menos importante y 5 el criterio el más importante.

Según la formula se debe hacer lo siguiente (solo se explican las dos primeras alternativas):

- Alternativa A:  $3*0,2197+2*0,1997+5*0,1960 = 2,04$
- Alternativa B:  $3*0,1872+2*0,2057+5*0,2038 = 1,99$

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Ponderación
Alternativa A	0,2197	0,1997	0,1960	2,04
Alternativa B	0,1872	0,2057	0,2038	1,99
Alternativa C	0,1990	0,2204	0,1936	2,01
Alternativa D	0,1951	0,1737	0,2077	1,97
Alternativa E	0,1990	0,2004	0,1989	1,99
PESOS	3	2	5	

Tabla 16. Resultado ejemplo suma ponderada.

De acuerdo con los resultados de la tabla 16, la ponderación más alta es la de la alternativa **A**, por lo tanto, esta sería la alternativa a seleccionar bajo el criterio 3.

#### 5.4.5. Ponderación de variables

La ponderación de los pesos que vimos en la suma ponderada no siempre llega a juicio de los expertos, sino que existen unos métodos para llegar a esa ponderación de pesos en los criterios:

##### ➤ CRITIC

Es original de Diakoulaki, Mavrotas y Papayannkis Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITRIC por sus siglas en ingles).

$$W_j = S_j * \sum (1 - r_{jk})$$

- **W<sub>j</sub>** = Peso o ponderación del criterio j.
- **S<sub>j</sub>** = Desviación típica del criterio j.

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{j=i}^n (x_j - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- **R<sub>jk</sub>** = Coeficiente de correlación entre los criterios j y k.

$$r_{jk} = \frac{COV(j, k)}{s_j * s_k}$$

Ejemplo:

Teniendo el siguiente conjunto de datos, se va a realizar la ponderación de variables.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	135	80	74
Alternativa B	37	175	152
Alternativa C	116	115	38
Alternativa D	182	23	118
Alternativa E	196	166	27

Tabla 17. Ejemplo ponderación de variables CRITIC.

Lo primero a realizar será la normalización, para lo cual lo haremos por la suma (tabla 18) y realizamos el cálculo de la desviación estándar (tabla 18), la cual se hará por medio de la función Excel DESVEST.P de cada criterio, posterior a ello se calcula el coeficiente de correlación, por medio de la función de Excel Coeficiente de correlación en la herramienta análisis de datos.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	0,2027	0,1201	0,1111
Alternativa B	0,0556	0,2628	0,2282
Alternativa C	0,1742	0,1727	0,0571
Alternativa D	0,2733	0,0345	0,1772
Alternativa E	0,2943	0,2492	0,0405
Desviación est	0,0846	0,0845	0,0711

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Criterio 1	1		
Criterio 2	-0,4491	1	
Criterio 3	-0,576	-0,12303361	1

Tabla 18. Resultado ponderación de variables CRITIC.

Ahora ya teniendo la desviación estándar y el coeficiente de correlación se realiza el cálculo de la ponderación mediante la fórmula:

- ✓  $W_1 = 0,0846 * ((1 - (-0,4491)) + ((1 - (-0,576))) = 1,699$
- ✓  $W_2 = 0,0845 * ((1 - (-0,4491)) + ((1 - (-0,123))) = 1,245$
- ✓  $W_3 = 0,0711 * ((1 - (-0,576)) + ((1 - (-0,123))) = 1,235$

Los resultados son los siguientes:



	Ponderación	Ponderación normalizada
Criterio 1	1,6986	0,4064
Criterio 2	1,2455	0,2980
Criterio 3	1,2351	0,2955
Suma	4,1793	1

Tabla 19. Ponderaciones normalizadas.

Según los resultados el criterio más importante es el del criterio 1 con una calificación de 40,6%, seguido del criterio 2 con 29,8% y el criterio 3 con 29,5%.

### ➤ ENTROPIA

Método expuesto por Zeleny (1982), cuyo objetivo del cálculo es medir la Diversidad de un criterio. En este método no es posible usar valores negativos ya que los logaritmos no se pueden realizar en este tipo de números.

Primero se debe normalizar los datos por la suma de cada criterio. Con el fin de aplicar la siguiente formula:

$$E_j = -K * \sum_i (a_{ij} * \log a_{ij})$$

$$\text{Siendo } K = \frac{1}{\log m}, \text{ y } m \text{ el numero de alternativas}$$

Luego se mide la diversidad:

$$D_j = 1 - E_j$$

Por último, las diversidades de los criterios se normalizan por la suma para obtener la ponderación:

$$w_j = \frac{D_j}{\sum_j D_j}$$

Los  $W_j$  expresan la ponderación o peso de cada uno de los criterios.

Ejemplo:

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	0,2027	0,1201	0,1111
Alternativa B	0,0556	0,2628	0,2282
Alternativa C	0,1742	0,1727	0,0571
Alternativa D	0,2733	0,0345	0,1772
Alternativa E	0,2943	0,2492	0,0405

Tabla 20. Datos normalizados ejemplo ENTROPIA.

Acá (tabla 20) ya se muestran los datos normalizados por la suma. Ahora se debe realizar el cálculo del logaritmo base 10 con la herramienta Excel para cada valor.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	-0,6931	-0,9204	-0,9542
Alternativa B	-1,2553	-0,5804	-0,6416
Alternativa C	-0,7590	-0,7628	-1,2437
Alternativa D	-0,5634	-1,4617	-0,7516
Alternativa E	-0,5312	-0,6034	-1,3921

Tabla 21. Resultado del cálculo del logaritmo de la tabla 20.

Ahora para poder calcular la entropía vamos multiplicar los datos de la tabla 20 con los datos de la tabla 21, es decir, los  $a_{ij} \cdot \log a_{ij}$  y realizamos la suma de cada criterio.

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Alternativa A	-0,1405	-0,1106	-0,1060
Alternativa B	-0,0697	-0,1525	-0,1464
Alternativa C	-0,1322	-0,1317	-0,0710
Alternativa D	-0,1540	-0,0505	-0,1332
Alternativa E	-0,1563	-0,1504	-0,0564
Suma	-0,6527	-0,5957	-0,5130

Tabla 22. Producto de  $a_{ij} \cdot \log a_{ij}$

Se realiza el cálculo de K. Logaritmo base 10 de 5 porque son 5 alternativas las que tenemos.

- ✓ El  $\log_{10} 5 = 0,699$
- ✓  $-K = 1 / \log_{10} 5 = 1/0,699 = -1,431$

Se realiza el cálculo de la entropía de los 3 criterios.

✓  $E_1 = (-1,431) * (-0,6257) = 0,9339$

✓  $E_2 = (-1,431) * (-0,5957) = 0,8522$

✓  $E_3 = (-1,431) * (-0,5130) = 0,7340$

Posteriormente se calcula la diversidad y se normaliza por la suma.

	Entropía $E_j$	Diversidad $D_j=1-E_j$	Diversidad normalizada
Criterio 1	0,9339	0,0661	0,1378
Criterio 2	0,8522	0,1478	0,3080
Criterio 3	0,7340	0,2660	0,5542
Suma		0,4800	1

Tabla 23. Entropía y diversidad

Como resultado se obtiene que el criterio que tiene mayor peso es el criterio 3 con 55,42%, seguido del criterio 2 con 30,8% y el criterio 1 con 13,78%.

### ➤ Ordenación simple

Este es el método menos elaborado y por tanto el más sencillo, considera que el decisor ordene los criterios de mayor a menor en orden de importancia en función de su propia perspectiva. Se usa cuando existe escasa información. Si dos criterios tienen el mismo valor a cada uno de ellos se le da el promedio de ambas valoraciones.

Ejemplo: Se tomarán los órdenes de importancia del método de la entropía:

	Orden	Puntuación	Ponderación normalizada por la suma
Criterio 1	3	2	0,33
Criterio 2	2	1	0,17
Criterio 3	1	3	0,50
Suma		6	1

Tabla 24. Ejemplo ordenación simple.

Como se puede ver en la tabla 24, el orden de importancia es “3” para el criterio 1, “2” para el criterio 2 y “1” para el criterio 3, se realiza la puntuación asumiendo en este caso “3” para el criterio 3, “1” para el criterio 2 y “2” para el criterio 1, luego la

puntuación se normaliza por la suma. Siendo así, el criterio 3 el más importante con 50%.

#### 5.4.6. Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

El (Analytic Hierarchy Process, AHP) es una metodología desarrollada por el profesor Thomas L. Saaty (1980), la cual busca desarrollar una estructura jerárquica que permita abordar problemas con determinadas de complejidades. Su estructura visual se compone de tres niveles; en la parte superior se ubica el objetivo del problema, en la parte central los criterios y en la parte inferior las alternativas de decisión, (ver **imagen 10**).

Su aplicación ha sido amplia en diferentes campos como la Educación, ciencia, logística, producción, implementación de nuevas tecnologías, aplicaciones ambientales, entre otras. Según el trabajo “Analytic hierarchy process: An averview of application” de Vaidya y Kumar (2006) en Europa Journal Operational Research, se hace referencia de 150 aplicaciones de AHP, y 27 de estas aplicaciones son analizadas de acuerdo a su aplicación realizada, lo cual deja en visto su importancia en la aplicación.

Para su aplicación se debe tener en cuenta que se inicia desde la selección de un problema por parte del decisor que puede estar representado por (inversiones, costos, ambiente, etc.), posterior se debe seguir con la identificación de los criterios de selección, es decir, las características más deseables que tiene sobre otras alternativas, y por último se definen las alternativas que están caracterizadas para los criterios de selección.

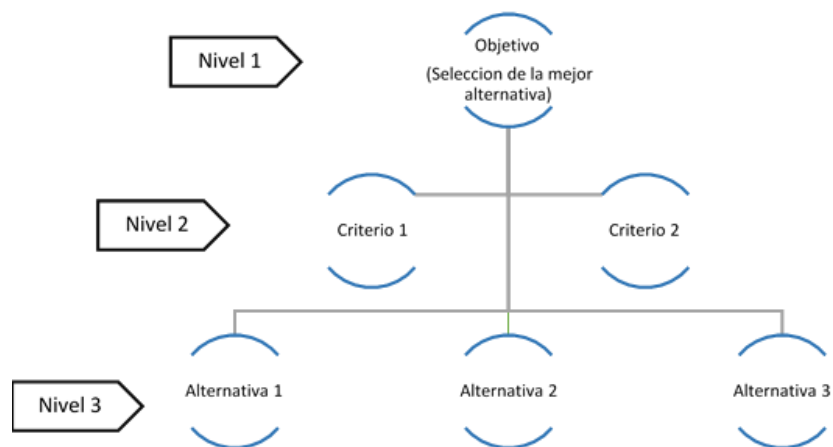


Imagen 11. Jerarquía Modelo AHP.

Para Jerónimo Aznar citando a (Macharis, 2004; Wnag y Yang 2007), “su aplicación se representa en tres procesos; construcción de la jerarquía, definición de las prioridades y la revisión del índice de consistencia”.

Luego de tener el modelo jerárquico se debe realizar una comparación pareada de las alternativas de acuerdo a la (tabla 3), en esta se establecen las variables de calificación que se le deben dar a las alternativas según su nivel de importancia.

VALOR	DEFINICION	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B esta fuera de toda duda
2, 4, 6 Y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	
Recíprocos de lo anterior	Si el criterio A es de importancia grande frente al criterio B las notaciones serían las siguientes. Criterio A frente a criterio B 5/1 Criterio B frente a criterio A 1/5	

Tabla 25. Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980).

Al tener claro la ponderación de los criterios se pasa a ponderar las distintas alternativas en función de cada criterio. Lo cual requiere que se comparen todas las alternativas en función de cada criterio, el resultado es una matriz  $nxn$  la cual se le realizan cálculos de vector propio y se calcula la reciprocidad, homogeneidad y el índice de consistencia, (todo esto se verá representado en un ejemplo).

La representación matemática del proceso es el siguiente:

Se normaliza por la suma.

$$X \text{ normalizado} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$$

Se suman las filas.

$$\frac{a_{11}}{\sum_{n=1}^n a_{n1}} + \frac{a_{12}}{\sum_{n=1}^n a_{n2}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum_{n=1}^n a_{nn}} = b_1$$

$$\frac{a_{21}}{\sum_{n=1}^n a_{n1}} + \frac{a_{22}}{\sum_{n=1}^n a_{n2}} + \dots + \frac{a_{2n}}{\sum_{n=1}^n a_{nn}} = b_2$$

$$\frac{a_{n1}}{\sum_{n=1}^n a_{n1}} + \frac{a_{n2}}{\sum_{n=1}^n a_{n2}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum_{n=1}^n a_{nn}} = b_n$$

El conjunto de b1 promediados forma un vector columna llamado vector media de sumas.

$$B = \left[ \frac{b_1}{n}, \frac{b_2}{n}, \frac{b_n}{n} \right]^T$$

La multiplicación o producto de la matriz original A por el vector prioridades B da como resultado una matriz llamada vector fila total.

$$A * B = C = [C_1, C_2, \dots, C_n]^T$$

Se realiza la división o cociente entre la matriz vector final y vector prioridades, generando una nueva matriz vector columna.

$$\frac{C}{B} = D$$

Al promediar los elementos D se genera Landa.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

Conocida landa se calcula el índice de consistencia.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

El índice de consistencia (CI), se compara con la tabla de valores aleatorios propuesta por Saaty.

Tamaño de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistencia aleatoria	0,00	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Tabla 26. Valores de la consistencia aleatoria.

De acuerdo al “n” numero de alternativas se elige la consistencia aleatoria. La división entre el CI y la consistencia aleatoria da como resultado el Ratio de consistencia.

$$CR = \frac{CI}{\text{Consistencia aleatoria}}$$

Se considera que existe consistencia cuando el resultado del CR no supera los valores de la tabla 27.

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 o mayor	10%

Tabla 27. Porcentajes máximos ratio de consistencia.

Ejemplo: se realiza el cálculo del modelo AHP en un conjunto de 5 alternativas.

MATRIZ	A1	A2	A3	A4	A5
A1	1	7	2	3	2
A2	1/7	1	1/2	1/3	1/4
A3	1/2	1/2	1	4	1
A4	1/3	3	1/4	1	1/2
A5	1/2	4	1	2	1
SUMA	2,48	15,50	4,75	10,33	4,75

Tabla 28. Matriz pareada.

Como se puede apreciar se realiza una matriz de 5x5 para este caso, cada una de ellas ha sido calificada según la escala de Saaty (tabla 25), ahora bien, la alternativa 1 de la columna comparándola con la alternativa 2 de la fila es 7 veces más importante y que según la escala valorativa es “importancia muy grande”. Este ejercicio se realiza con cada uno de las alternativas. Al finalizar se realiza la suma de las columnas a fin de realizar la normalización por la suma.

Para el cálculo de la reciprocidad se utiliza la formula  $n(n-1) / 2$ , donde n es el número de alternativas. Para nuestro caso será  $5(5-1) / 2 = 10$ , esto quiere decir que se habrán echo 10 comparaciones pareadas, las cuales están representadas en color verde en la tabla 28.

La homogeneidad se verá representada para los  $a_{ij}$  en donde, si los elementos de la matriz i y j son de igual importancia entonces  $a_{ij} = a_{ji} = 1$ , la alternativa 1 de la columna tiene igual importancia que la alternativa 1 de la fila, al igual que la alternativa 2 de la columna con la alternativa 2 de la fila, esto se da porque al comparar la misma alternativa su importancia será la misma según se explica en la representación matemática anterior.

NORMALIZACION	A1	A2	A3	A4	A5	SUMA FILAS	MEDIA SUMA FILAS
A1	0,4038462	0,5	0,4210526	0,29032258	0,42105263	1,9878869	0,39757738
A2	0,0576923	0,1	0,1052632	0,03225806	0,05263158	0,3123612	0,06247225
A3	0,2019231	0,0	0,2105263	0,38709677	0,21052632	1,0423305	0,20846611
A4	0,1346154	0,2	0,0526316	0,09677419	0,10526316	0,5828327	0,11656654
A5	0,2019231	0,3	0,2105263	0,19354839	0,21052632	1,0745886	0,21491772
SUMA	1	1	1	1	1		

Tabla 29. Normalización y suma de filas.

Para el cálculo de la consistencia se requiere una serie de operaciones, para lo cual se utiliza los resultados de la (tabla 29) con los datos normalizados por la suma, seguido se realiza la suma de las filas de las alternativas por filas, y se establece el promedio de las filas de las alternativas de la A1 a la A5 media suma filas.

MATRIZ	A1	A2	A3	A4	A5	FILA TOTAL
A1	1	7	2	3	2	2,0314
A2	1/7	1	1/2	1/3	1/4	0,3161
A3	1/2	1/2	1	4	1	1,1197
A4	1/3	3	1/4	1	1/2	0,5961
A5	1/2	4	1	2	1	1,10519

Tabla 30. Multiplicación de matrices.

Seguido de esto se multiplica la matriz inicial (tabla 28) con el promedio de la suma (tabla 29) “media suma filas” obteniendo así el producto, llamado “fila total” por medio de Excel usando la formula MMULT. Esto nos permite realizar el cálculo del vector propio de la matriz.



VECTOR COLUMNA	MEDIA SUMA	FILA TOTAL	VECTOR
A1	0,39757738	2,0314	5,109321
A2	0,06247225	0,3161	5,059639
A3	0,20846611	1,1197	5,371016
A4	0,11656654	0,5961	5,113684
A5	0,21491772	1,1052	5,142408
		LANDA	5,159214

*Tabla 31. Vector propio.*

Se toma el resultado de la fila total y se divide entre el promedio de las alternativas “media suma filas”, encontrando así el vector propio de cada alternativa  $(2,0314/0,397) = 5,109$ . Se hace un promedio de los vectores y a este resultado lo llamaremos Landa. El vector representa el peso o importancia relativa que cada uno de las alternativas va a tener en el proceso de decisión.

Se calcula el índice de consistencia:

$$CI = (5,159214 - 5) / (5 - 1) = 0,0398.$$

Ahora se calcula el ratio de consistencia el cual es el cociente entre CI y 1,11 que es la consistencia aleatoria de la (tabla 26) para una matriz n de 5:

$$CR = 0,0398 / 1,11 = 0,0359 = 3,59\%$$

Nos ubicamos en la (tabla 27) y para una matriz de 5 nos muestra 10% y el CR hallado es de 3,59%, podemos afirmar que la matriz es consistente.

En determinados casos la matriz puede arrojar resultados en que no sea consistente para esto se debe realizar una clasificación de las actividades mediante un orden basado en las ponderaciones obtenidas, y realizar una nueva comparación de matrices multiplicándose por sí misma hasta que el vector columna normalizado sea muy cercano o coincida con el anterior producto de las multiplicaciones de las matrices.

Para el uso de este modelo existe un programa llamado “Expert Choice” el cual permite realizar los cálculos del ejemplo anterior de forma rápida y sencilla.

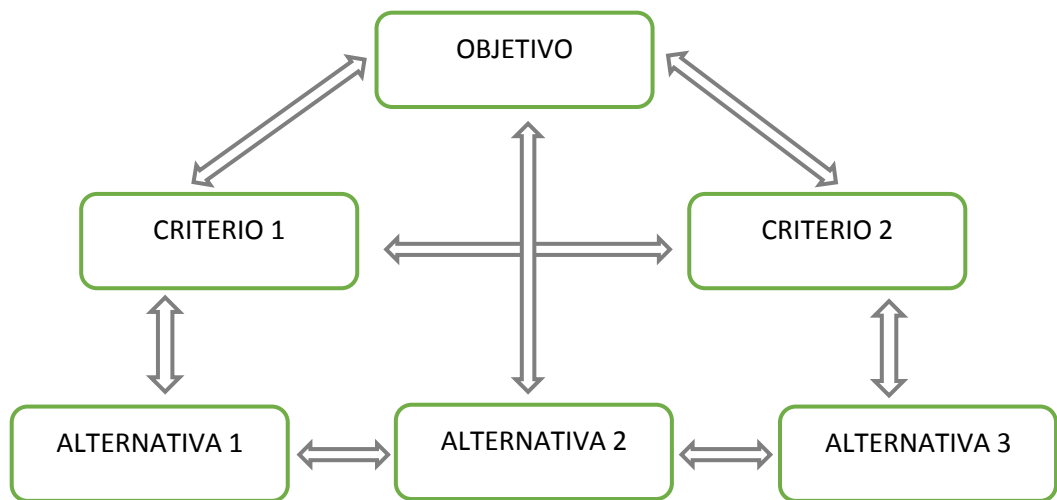
#### **5.4.7. Proceso Analítico en Red (ANP)**

Modelo igualmente desarrollado por el profesor Thomas L. Saaty Analytic Network Process ANP (Proceso Analítico en Red), el cual es una generalización del AHP con la diferencia que este modelo contempla todas las interrelaciones, influencias y

realimentaciones de todos los elementos relacionados en la jerarquización. Lo que permite incluir relaciones de interdependencia entre los elementos del sistema en todas las direcciones, (ver **imagen 12**).

Como su nombre lo indica en “red” (ver **imagen 13**), permite la interacción de las variables relacionadas en la jerarquía lo que era una “debilidad” en el modelo AHP para ser aplicado a ciertos modelos de decisión multicriterio.

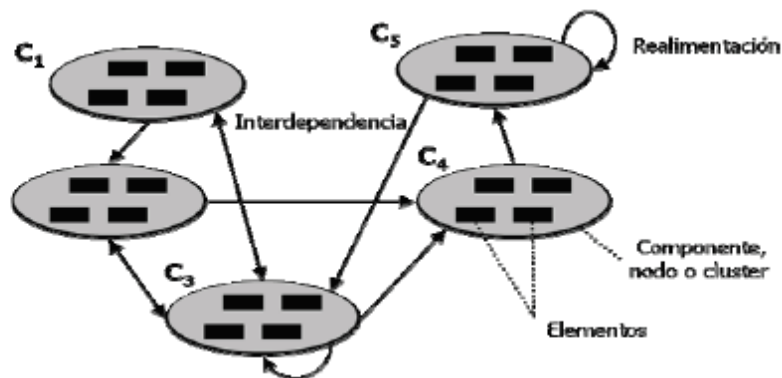
*Imagen 12. Relaciones AHP y ANP.*



Fuente. (Jeronimo Aznar Bellver, 2012).

“La red está formada por Componente, Nodos o clusters y cada uno de ellos contiene una serie de elementos. Las relaciones entre componentes, nodos o clusters se llama interdependencias y las relaciones entre elementos dentro de un mismo nodo, realimentación”. (Bellver Aznar & Martinez Guijarro, 2012)

*Imagen 13. Red de ANP.*



Fuente. Nuevos Métodos de Valoración.

Para el desarrollo de este modelo es necesario:

a). Identificar los elementos de la red, es decir, Las alternativas, los criterios y la construcción de la red. Al igual que en AHP existen una serie de alternativas a priorizar y una serie de criterios que nos van a permitir realizar dicho proceso de priorización. Ahora bien, para construir la red es necesario que las alternativas estén en un nodo o cluster, y los criterios en otros componentes o clusters, dado que los criterios tienen diferentes variables como son, económicas, políticas, geográficas, etc.

b). Realizar el análisis de la red de influencias. Matriz de dominación interfactorial. Con el paso anterior ya se tienen definidos los clusters y sus componentes, lo siguiente es determinar las interdependencias de los clusters y las realimentaciones entre los elementos identificados de los clusters. La forma en que se representan las influencias, es por medio de la matriz de dominación interfactorial o también matriz de influencias, compuesta por 1 y 0, donde 1 representa que los elementos que confluyen tienen influencia, mientras que el 0 representa que no tiene influencia. Para la construcción de esta matriz se deben de tomar los elementos de cada criterio y al igual que en AHP se establece la relación entre los mismos y determinar si se tiene influencia, como se aprecia en la (tabla 32).

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0	1	0	1	0	1	0
	e12	1	0	1	1	0	1	1
	e13	1	1	0	0	1	1	1
C2	e21	0	1	1	0	0	0	0
	e22	1	1	1	0	0	0	0
	e23	1	0	1	0	0	0	0
	e24	1	1	1	0	0	0	0

*Tabla 32. Matriz interfactorial.*

c). Cálculo de las prioridades entre elementos. Supermatriz original. Continuando con el proceso, ahora se determina la cuantificación de las influencias, por medio de matrices de comparación pareada, en el que se desarrolla de igual manera que en AHP. Sobre e11 ¿quién tiene más influencia? e12 o e13, posteriormente se hace la pregunta sobre e12 ¿quién tiene más influencia? e11 o e13. En cada una de las filas se calcula el vector propio.

	e12	e13	Vector propio
e12	1	2	0,6667
e13	$\frac{1}{2}$	1	0,3333
CR			1

Tabla 33. Influencia de e12 y e13 sobre e11

	e11	e13	Vector propio
e11	1	1/5	0,1667
e13	5	1	0,8333
CR			1

Tabla 34. Influencia de e11 y e13 sobre e12

Los valores de los vectores propios son puestos en la matriz original.

	C1			C2			
	e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
e11	0	0,1667	0	1	0	1	0
e12	0,6667	0	1	1	0	1	1
e13	0,3333	0,8333	0	0	1	1	1
e21	0	1	1	0	0	0	0
e22	1	1	1	0	0	0	0
e23	1	0	1	0	0	0	0
e24	1	1	1	0	0	0	0

Tabla 35. Matriz influencia C1.

El proceso anterior se repite con cada cluster, a fin de encontrar la influencia de los elementos.

Sobre e11		e22	e23	e24	Vector propio
e22		1	1/3	1/5	0,1047
e23		5	1	1/3	0,2583
e24		5	3	1	0,6370
CR					1
Sobre e12		e21	e23	e24	Vector propio
e21		1	2	1/3	0,2297
e23		½	1	1/5	0,1220
e24		3	5	1	0,6483
CR					1
Sobre e13	e21	e22	e23	e24	Vector propio
e21	1	1/5	1/3	3	0,1248
e22	3	1	2	7	0,5275
e23	5	½	1	1/43	0,2865
e24	1/3	1/7	¼	1	0,0612
CR					1

Tabla 36. Influencia C2.

Se continúa con el método hasta completar las ponderaciones que se trasladan a la matriz original.

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0	0,1667	0	0,75	0	0,1603	0
	e12	0,6667	0	1	0,25	0	0,1488	0,6667
	e13	0,3333	0,8333	0	0	1	0,6908	0,3333
C2	e21	0	0,2297	0,1248	0	0	0	0
	e22	0,1047	0,122	0,5275	0	0	0	0
	e23	0,2583	0	0,2865	0	0	0	0
	e24	0,637	0,6483	0,0612	0	0	0	0

Tabla 37. Matriz influencia original.

d). Se calculan las prioridades entre los clusters. Supermatriz ponderada. Al terminar el proceso anterior la matriz no es una matriz estocástica “sus columnas no suman 1”, para transformarla en estocástica es necesario realiza una matriz de comparación pareada y determinar la ponderación. Para lo cual se hace una relación entre los clusters C1 y C2 y determinar su importancia.

	C1	C2	Vector propio
C1	1	1/3	0,25
C2	3	1	0,75
CR	0		1

Tabla 38. Matriz comparación C1 y C2 sobre los elementos C1.

Las ponderaciones son multiplicadas por los elementos de los clusters correspondientes.

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0	$0,1667*0,25$	0	0,75	0	0,1603	0
	e12	$0,6667*0,25$	0	$1*0,25$	0,25	0	0,1488	0,6667
	e13	$0,333*0,25$	$0,8333*0,25$	0	0	1	0,6908	0,3333
C2	e21	0	$0,2297*0,75$	$0,1248*0,75$	0	0	0	0
	e22	$0,1047*0,75$	$0,122*0,75$	$0,5275*0,75$	0	0	0	0
	e23	$0,2583*0,75$	0	$0,2865*0,75$	0	0	0	0
	e24	$0,637*0,75$	$0,6483*0,75$	$0,0612*0,75$	0	0	0	0

Tabla 39. Producto ponderación por elementos clusters.

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0	0,0417	0	0,75	0	0,1603	0
	e12	0,1667	0	0,2500	0,25	0	0,1488	0,6667
	e13	0,0833	0,2083	0	0	1	0,6908	0,3333
C2	e21	0	0,1723	0,0936	0	0	0	0
	e22	0,0785	0,0915	0,3956	0	0	0	0
	e23	0,1937	0	0,2149	0	0	0	0
	e24	0,4778	0,4862	0,0459	0	0	0	0

Tabla 40. Resultado del producto.

e). Supermatriz limite. Para llegar a la ponderación final es necesario realizar el producto de la matriz de la (tabla 40) por si misma hasta que los valores en las filas sean iguales para cada fila.

		C1			C2			
		e11	e12	e13	e21	e22	e23	e24
C1	e11	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687
	e12	0,2107	0,2107	0,2107	0,2107	0,2108	0,2107	0,2108
	e13	0,2918	0,2919	0,2918	0,2917	0,2917	0,2917	0,2917
C2	e21	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636	0,0636
	e22	0,1401	0,1401	0,1401	0,1401	0,1402	0,1401	0,1402
	e23	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760
	e24	0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,1487	0,1486	0,1487

*Tabla 41. Supermatriz limite.*

Según los resultados de la ponderación de los elementos del criterio C1 en la alternativa e13 tiene un peso de 29%, mientras el criterio C2 en la alternativa e24 tiene un peso de 14,9%, estos son los que tienen mayor influencia.

Como solución informática ANP cuenta con el software Super Decisions.

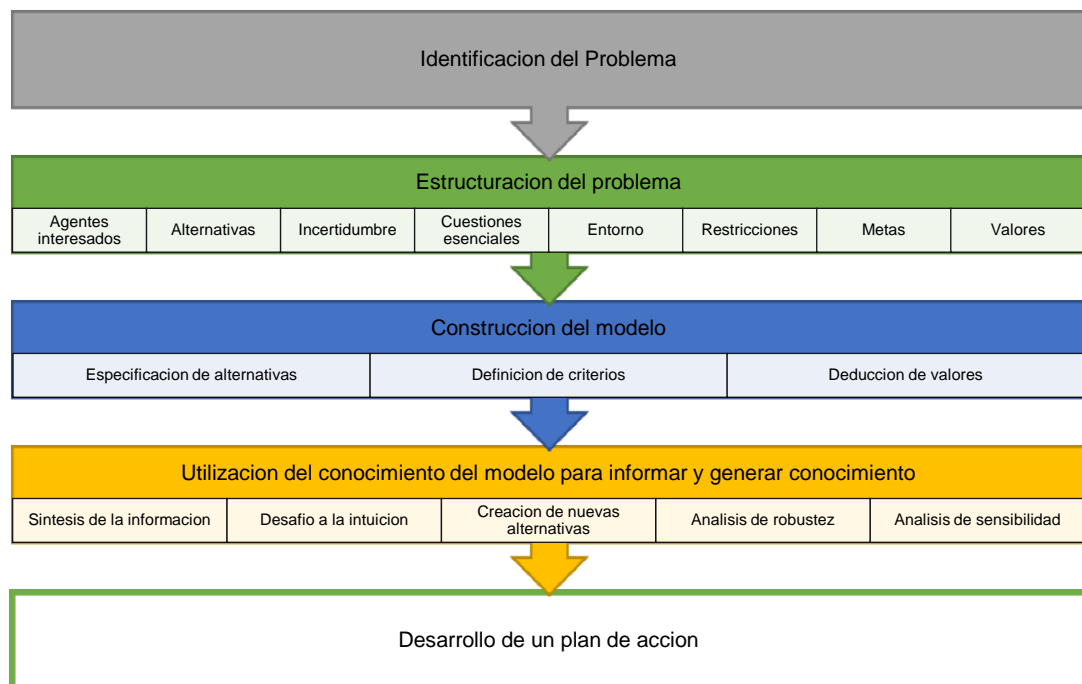
Basados en los anteriores modelos estudiados, se selecciona como método a aplicar para el caso de estudio el análisis mediante ANP, por su facilidad de combinación para la valoración de los criterios Vs las alternativas identificadas, según lo visto en este apartado.

## 6. METODOLOGIA

### 6.1. Diseño metodológico

Basado en Romero (2011) se toma como método de solución para el problema de decisión presente en la selección del método extractivo, la forma de solución general de MCDA según Belton y Stewart (2002) (**imagen 14**) que inicia con la etapa de identificación del problema a solucionar, donde se establece la meta o el objetivo que se persigue con el modelo a realizar, la segunda etapa consiste en la estructuración del problema, la tercera que consiste en la presentación de la información y finalmente el plan de acción.

*Imagen 14. Proceso de Toma de decisiones*



*Fuente. Tomado de (Belton y Stewart 2002).*

### 6.2. Metodología desarrollada

La metodología propuesta como ayuda para toma de decisiones en la selección del método extractivo es basada en la propuesta metodológica planteada en Cortes y otros (2009), adaptada en Romero y otros (2012) (ver **Imagen 15**). Para el método basado en el criterio de expertos se propone el uso de PAJ desarrollado por Saaty (1980) el cual se basa en el concepto de la asignación de pesos a los criterios



mediante el cálculo del eigen vector dominante de una matriz de comparaciones binarias. Este método es ampliamente aceptado por contar con una sólida fundamentación teórica la cual puede corroborarse en Harker y Vargas (1987). Por otra parte, se plantea también el uso conjunto de la metodología de comprobación por entropía y Pres planteada por Romero y otros (2012) la cual permitirá evaluar las alternativas sin la variación que supone las preferencias de cada decisor, las cuales se incluyen dentro del método ANP en Super Decisions.

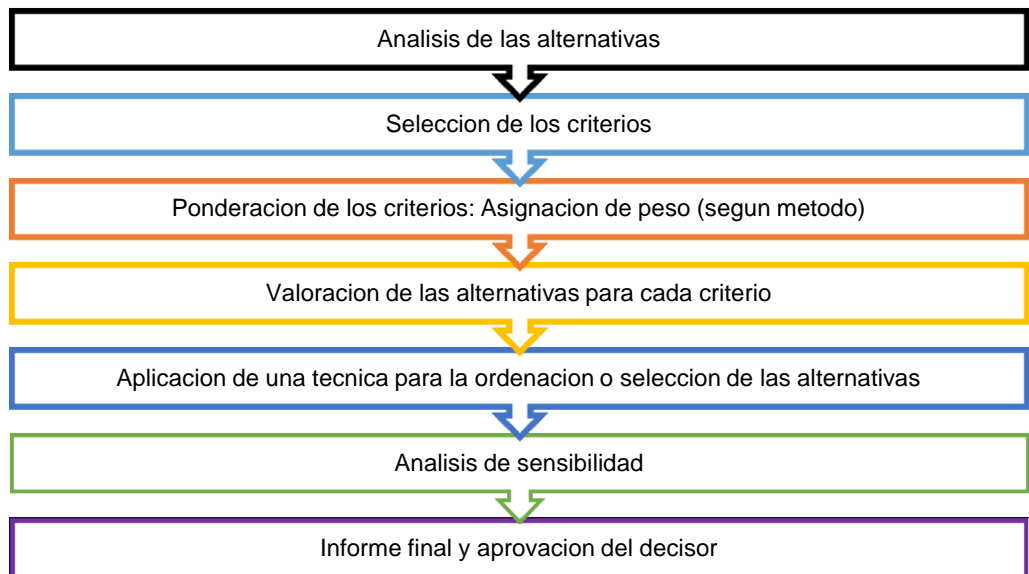


Imagen 15. Esquema general de solución

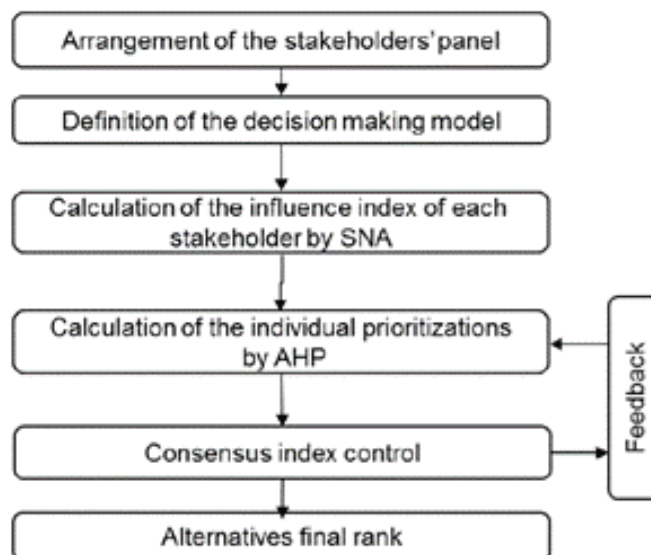


Imagen 16. Propuesta metodológica para resolución del problema de priorización de problemas ambientales. (Romero-gelvez, 2016)

### 6.3. Análisis de alternativas

**Alternativa 1 Contaminación del suelo:** Consiste en la introducción de agentes extraños a la superficie terrestre, así mismo por la intervención humana alterando las condiciones originales del terreno. Lo anterior genera alteraciones a nivel humano, de fauna, flora, y agricultura.

**Alternativa 2 Contaminación de fuentes hídricas. Subterráneas y superficiales:** Corresponde a la introducción de materiales extraños al agua, tales como, químicos, residuos industriales, aguas residuales, microorganismos y otros, que deterioran la calidad del agua haciéndola no inocua, lo cual genera daños a la salud humana, daños a las especies animales, daños a la flora, e inutilizable para plantaciones agrícolas.

**Alternativa 3 Contaminación del aire:** Esta se produce cuando ciertas partículas sólidas y gaseosas se mezclan en el aire, las cuales son producto de las industrias. Dicha mezcla contiene elementos tóxicos que entran en contacto con las partículas de la atmosfera, perjudicando la salud humana, evitando el buen desarrollo de las plantaciones y dañando las especies animales.

**Alternativa 4 Desertificación:** Al momento en que se realiza la adaptación de los suelos silvestres y vírgenes (entiéndase virgen como la no intervención humana en el lugar) para actividades humanas, se genera un proceso de degradación ecológica el cual altera el suelo haciendo infértil y perdiendo forma total o de manera parcial el potencial de producción. Esta adaptación también deriva en otros impactos ambientales como: sequia, degradación del paisaje, erosión del suelo, y deforestación.

### 6.4. Selección de los criterios de decisión

Los problemas encontrados se agrupan en tres categorías adaptando el trabajo de Jácome (Jácome-enríquez, Pachamama-méndez, & Gomez Navarro, 2014).

Categoría 1: Ambiental

- (1) Pérdida de la capa vegetal: Esta es generada principalmente por las operaciones realizadas en la extracción de rocas y transformación del paisaje, adicional por la contaminación de aire, agua y suelos.

- (2) Fuentes de emisión atmosférica: La explotación del suelo requiere de maquinaria pesada, transporte de materiales y transformación de materia prima en plantas industriales, generando cantidades significativas de emisiones atmosféricas. Así mismo, la explotación de los materiales para la fabricación del cemento genera grandes cantidades de polvo, que afectan la salud humana.

#### Categoría 2: Económica

- (1) Ordenamiento territorial: En el territorio se cuenta con zonas protegidas ambientalmente por las autoridades ambientales, zonas que posteriormente se han ido reconduciendo en su cantidad de hectáreas por la aprobación de resoluciones de explotación minera por parte de la CAR. La recuperación de estas zonas implica grandes inversiones financieras.

#### Categoría 3: Social

- (1) Turismo: Suesca es principalmente conocido por su desarrollo turístico, el cual se ha visto disminuido progresivamente desde el inicio de las operaciones de la industria cementos Tequendama, según informa la comunidad.
- (2) Afectaciones en salubridad: Las comunidades de Suesca han denunciado públicamente afectaciones a la salud derivadas por las actividades de la operación de la industria cementera Tequendama.

### 6.5. Desarrollo metodológico

Por medio de la identificación del esquema de los problemas a priorizar (ver **imagen 17**), en la cual se logra visualizar el mapa mental del caso de estudio y, partiendo de la metodología establecida por (Saaty), se plantea el objetivo, seguido de los criterios y finalizando con las alternativas identificadas. Estos serán los elementos a evaluar por medio del programa Super Decisions. También se muestra el modelo de la priorización de los problemas (ver **imagen 18**), según el software del cual se partió para realizar el desarrollo de la valoración de las alternativas para cada criterio en la priorización de problemas ambientales.

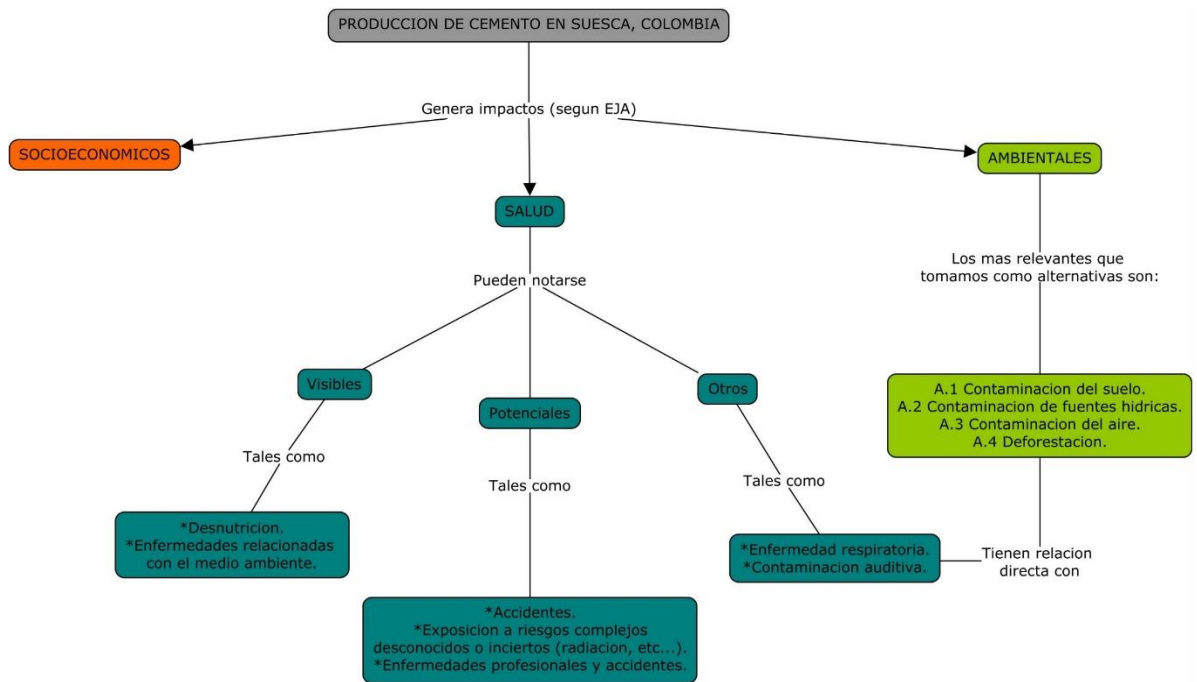


Imagen 17. Esquema de los problemas a priorizar.

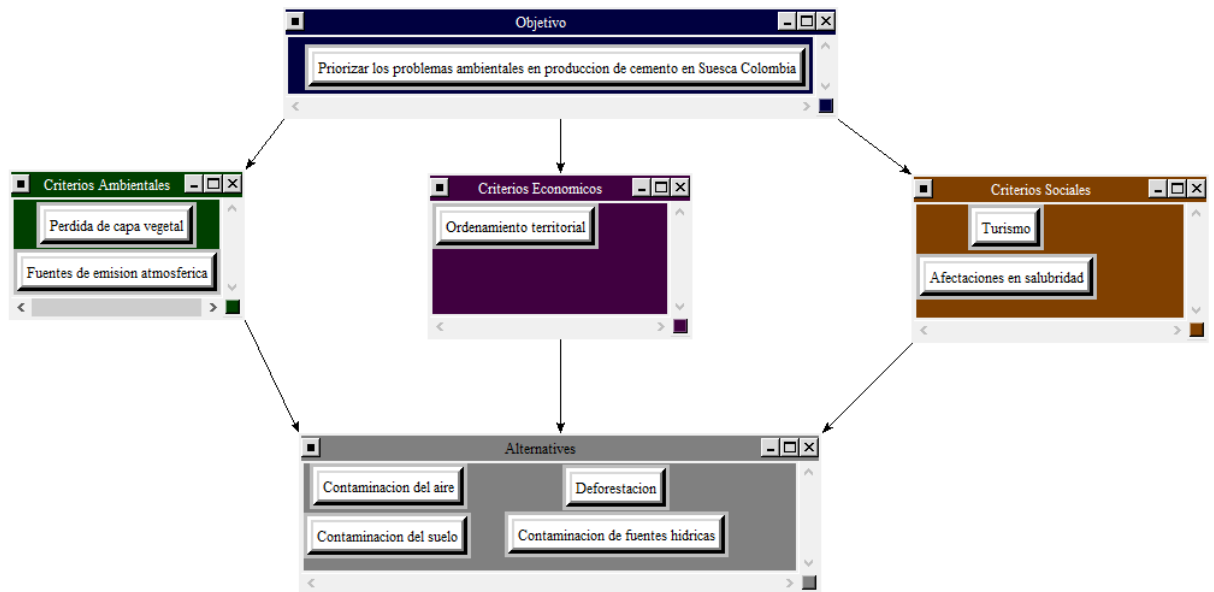


Imagen 18. Modelo establecido por medio de Super Decisions.

Los perfiles de los decisores se describen a continuación:

Decisor 1: Profesional en Sistemas de gestión, con 6 años de experiencia en procesos de calidad y ambiental, asesorando empresas en diferentes sectores de la economía.

Decisor 2: Candidato a phd en ingeniería, experto en optimización y modelado matemático, investigador en gestión ambiental y decisiones multicriterio.

Decisor 3: Escalador, montañista, geólogo con 5 años de experiencia en hidrocarburos y estudiante de maestría en modelos paleo-climáticos de la universidad de Ohio.

➤ Resultados Decisor uno (1).

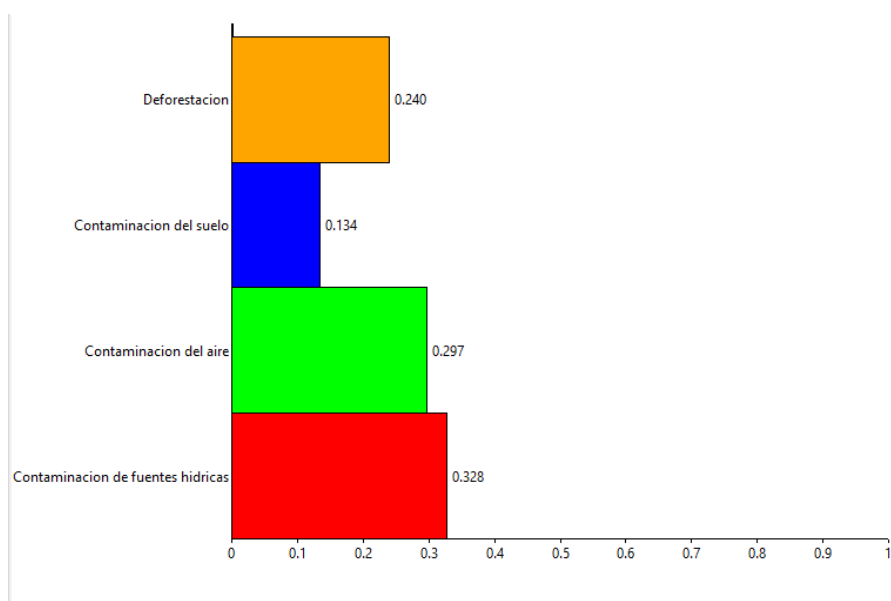


Grafico 2. Resultados del grafico Barchart del Decisor 1.

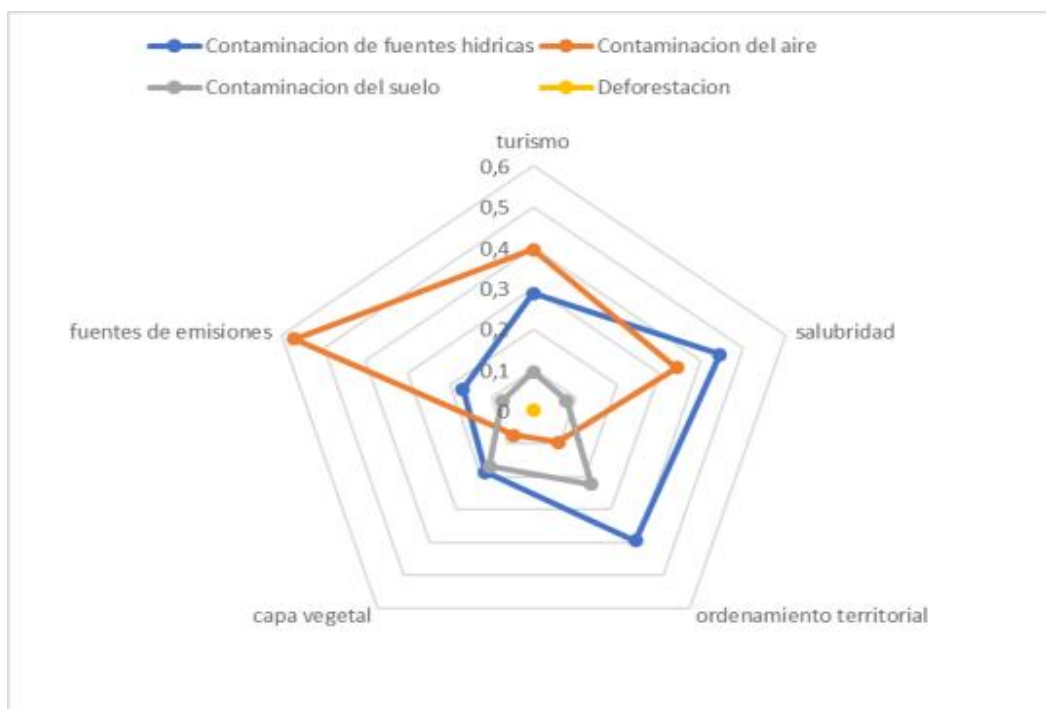


Grafico 3. Diagrama de red Decisor 1.

Como se puede visualizar en cada uno de los gráficos anteriores la “contaminación de fuentes hídricas” es la alternativa que genera mayor valoración para el decisor número uno, de igual forma en el diagrama en red en donde se hace un resumen de los criterios frente a las alternativas, se puede ver que la contaminación de las fuentes hídricas tiene mayor influencia sobre el criterio “afectaciones en salubridad”.

➤ Resultados Decisor dos (2).

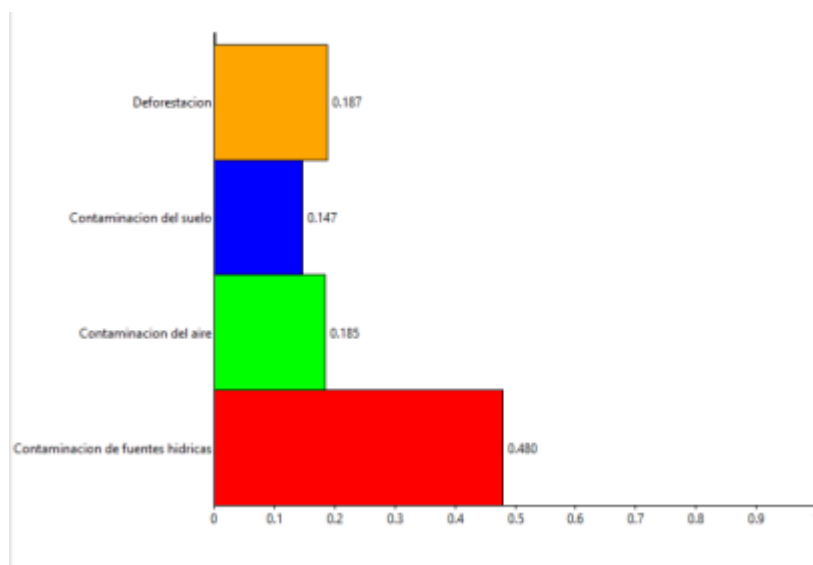


Grafico 4. Resultados del grafico Barchart del Decisor 2.

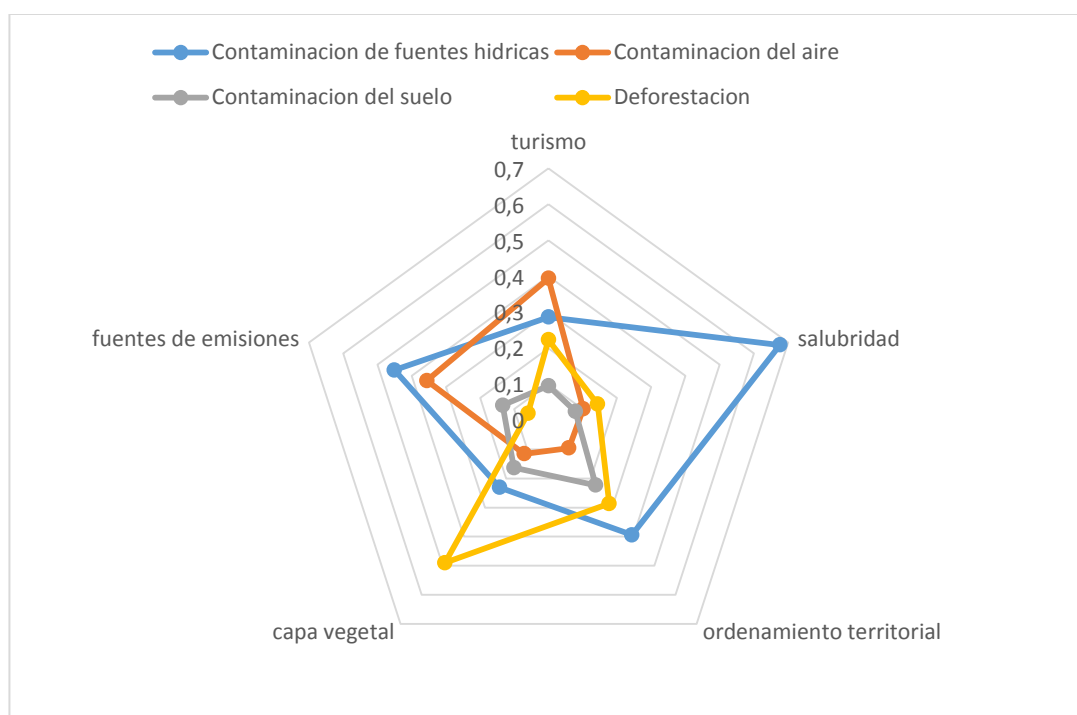


Grafico 5. Diagrama de red Decisor 2.

Para el caso del decisor número dos se cuenta con que la “contaminación de las fuentes hídricas” tiene una mayor valoración frente a las demás alternativas. Ya en el diagrama en red el cual presenta las influencias que tienen los criterios frente a las alternativas, se puede ver que la alternativa “contaminación de las fuentes hídricas” tiene mayor influencia sobre el criterio “afectaciones en salubridad”.

➤ Resultados Decisor 3.

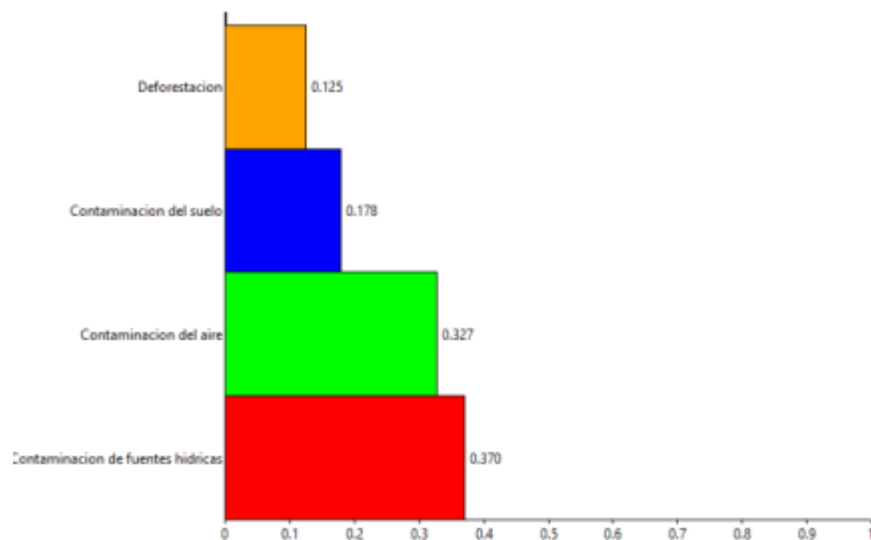


Grafico 6. Resultados del grafico Barchart del Decisor 3.

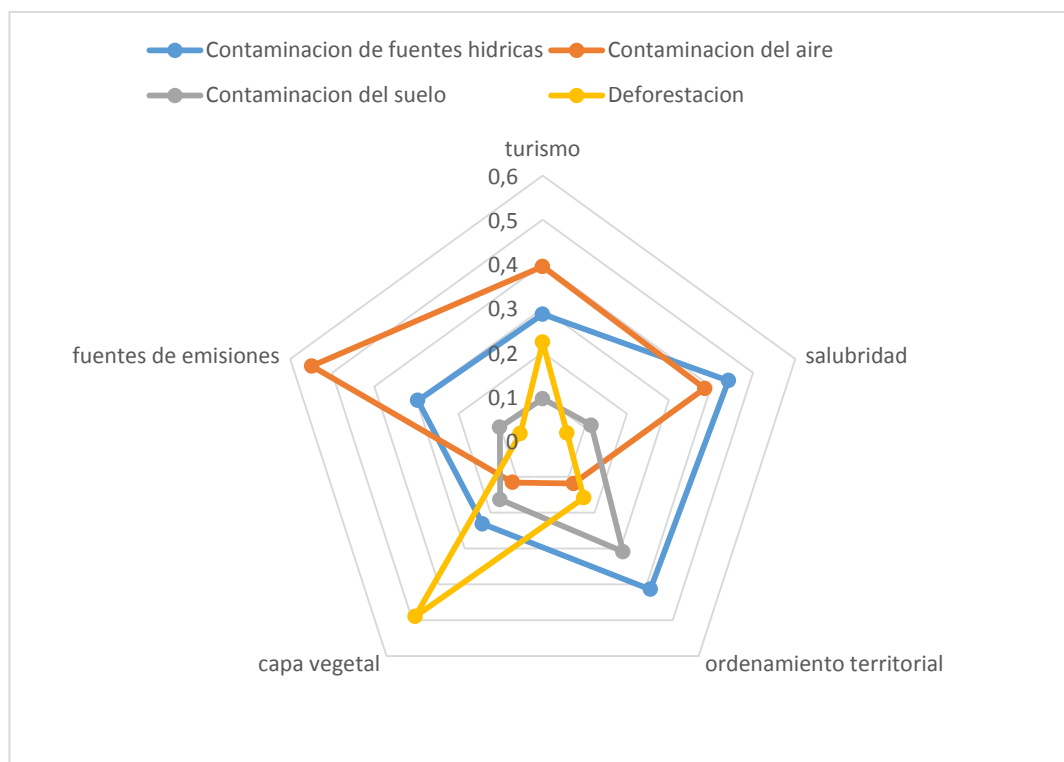


Grafico 7. Diagrama de red Decisor 3.

Finalmente, para el decisor número tres se repite la valoración más alta para la alternativa “contaminación de fuentes hídricas” según los gráficos anteriores referentes a este decisor. Para el diagrama de red el criterio “afectaciones en salubridad” sigue siendo el precedente en la valoración.

Según los resultados de la valoración de los tres decisores frente a la priorización de los problemas ambientales del caso en estudio de Suesca, se logró identificar el orden de la priorización de estos problemas ambientales, siendo así el orden:

Resultado de la priorización	
1	Contaminación de fuentes hídricas. Subterráneas y superficiales.
2	Contaminación del aire.
3	Deforestación. Pérdida de biodiversidad (flora y fauna).
4	Contaminación del suelo.

Tabla 42 Resultado de la priorización de problemas ambientales del caso de estudio

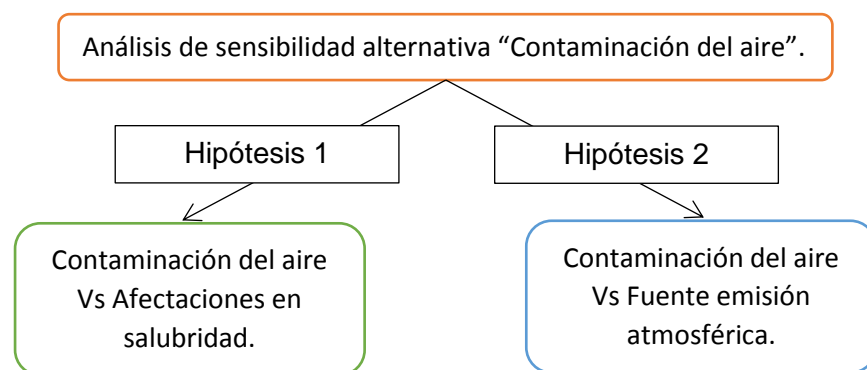
De acuerdo a estos datos arrojados por la aplicación de la metodología multicriterio, se cuenta con una clara definición de los resultados a discutir frente al caso de estudio



para la priorización de los problemas ambientales. Los resultados valorativos de cada decisor se encuentran en los anexos.

### Análisis de sensibilidad

Según los resultados de los tres decisores se puede constatar que efectivamente la alternativa de “contaminación de fuentes hídricas” es la que ocupa el primer lugar en la priorización de problemas ambientales, ahora bien, como segunda opción en la valoración se tiene la alternativa “contaminación del aire” con respecto al criterio de “fuentes de emisiones atmosféricas” (para el decisor uno y tres), para lo cual se hace interesante conocer hipotéticamente el - ¿qué hubiera pasado sí? -, esta pregunta hace referencia a evaluar una segunda opción dentro del modelo desarrollado, lo que se conoce como análisis de sensibilidad.



*Imagen 19. Esquema análisis de sensibilidad*

Hipótesis 1: ¿Qué hubiera pasado si la alternativa “contaminación del aire” tuviera la mayor valoración manteniendo el criterio de afectaciones en salubridad?

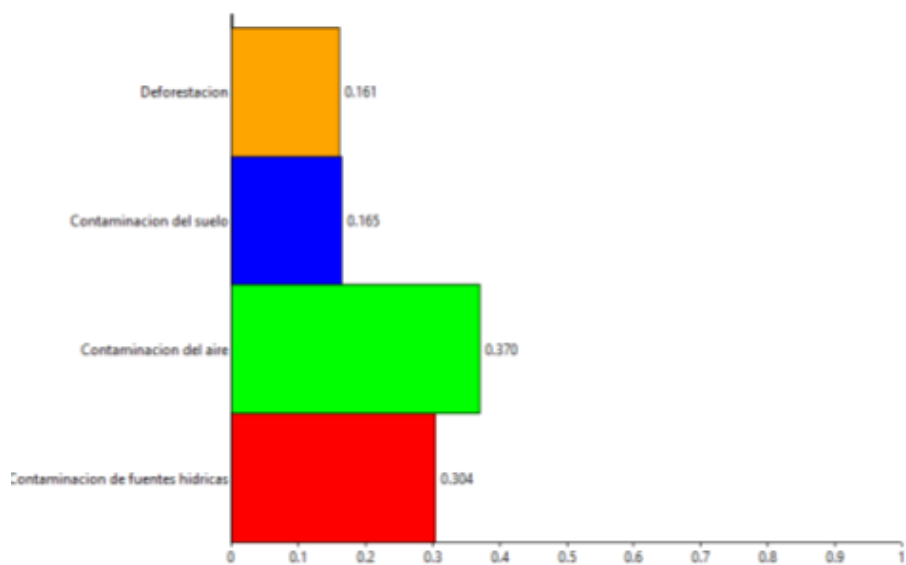


Grafico 8. Análisis de sensibilidad alternativa contaminación del aire Barchart.

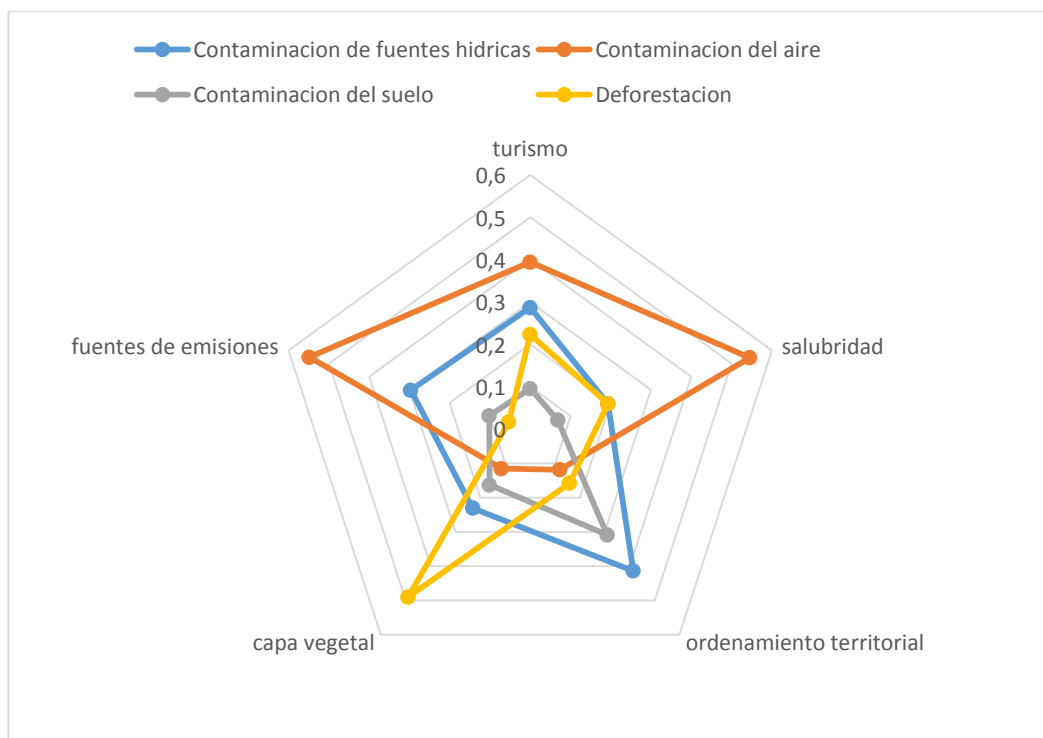


Grafico 9. Diagrama de red análisis de sensibilidad contaminación del aire.

Se dio un peso mayor en la valoración a la alternativa de “contaminación del aire” (ver **gráfico 8**), este cambio en el modelo supone una nueva priorización de los problemas ambientales. Esto dio como resultado un nuevo diagrama de red (ver **gráfico 9**), en el cual con esta alternativa el criterio a tener en cuenta es la “fuente de emisión atmosférica” seguido muy de cerca de “afectaciones en salubridad”, lo que es

razonable puesto que estas serían las primeras consecuencias de la alternativa de “contaminación del aire”.

Hipótesis 2: ¿Qué hubiera pasado si la alternativa “contaminación del aire” tuviera la mayor valoración, siendo el criterio principal la “fuente de emisión atmosférica”?

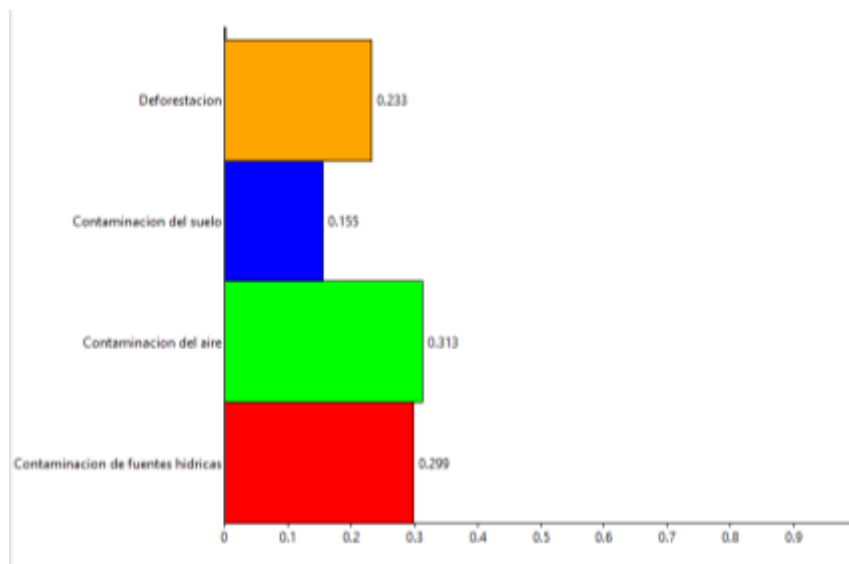


Grafico 10. Análisis de sensibilidad criterio fuentes de emisión atmosférica Barchart.

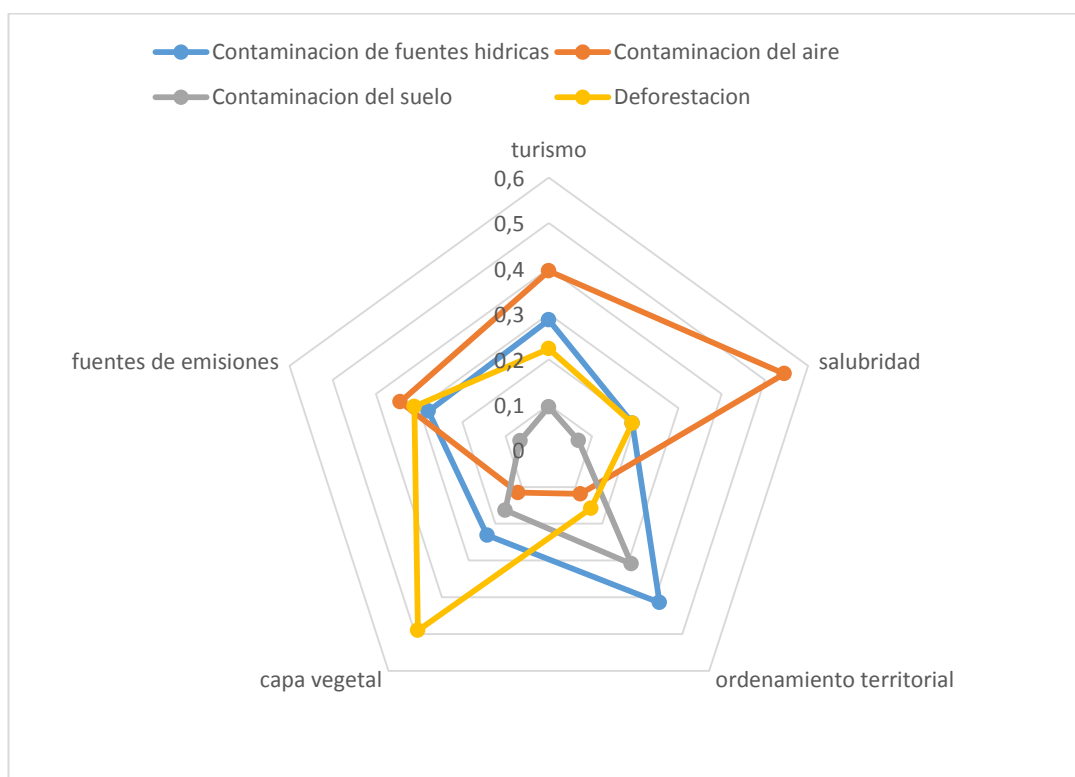


Grafico 11. Diagrama de red análisis de sensibilidad fuentes de emisión atmosférica.

Se mantuvo la valoración del análisis de sensibilidad anterior, haciendo el cambio solo en la valoración del criterio de “fuentes de emisión atmosférica” (ver **gráfico 10**), manteniendo en primer lugar la “contaminación del aire” como la primera alternativa a priorizar del análisis de sensibilidad anterior. El nuevo diagrama de red (ver **gráfico 11**), en este caso “afectaciones en salubridad” nuevamente vuelve ser el criterio a tener en cuenta como lo muestran los modelos desarrollados, esto permite inferir la relación que existe entre la contaminación de fuentes hídricas y la contaminación del aire frente al criterio “afectaciones en salubridad”.

## **6.6. Discusión de resultados**

La anterior aplicación de la metodología definida, muestra el cómo se determinó de forma metódica y por medio de valoraciones pertinentes según el juicio de los decisores, la justificación para la priorización de los problemas ambientales, que en este caso se identificó la “contaminación de fuentes hídricas” como principal alternativa a tener en cuenta, según los criterios establecidos.

El análisis de sensibilidad entregó valiosa información en cuanto a la priorización de los problemas ambientales, esto supuso dos preguntas hipotéticas en las que se evaluó el ¿qué pasaría si? El resultado final fue la identificación como principal criterio a tener en cuenta “afectaciones en salubridad”, independientemente del cambio de las valoraciones entre las alternativas, este criterio estuvo como aquel a tener en cuenta tanto en el modelo original como en los análisis de sensibilidad, manteniendo el enfoque en la priorización de los problemas ambientales.

Como factor diferenciador que aporta esta investigación, se encuentra la explicación de la metodología paso a paso en el numeral 5.3, a fin de estructurar de forma clara el proceso analítico visto en el desarrollo metodológico y que esto permitiera evaluar correctamente la priorización de los problemas ambientales, dando respuesta a la formulación del problema.

El modelo multicriterio ANP cuya valoración fue totalmente independiente entre los decisores, fue para este caso el que los tres dieran la misma importancia a la alternativa “contaminación de fuentes hídricas”, lo cual facilitó el planteamiento de la priorización del caso de estudio llegando al consenso, sin embargo, es posible que en otras circunstancias estos resultados fueran diferentes, es por ello que los resultados de este trabajo pueden servir como base para la aplicación en futuras investigaciones de modelos multicriterio para problemas medio ambientales similares.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

- Se realizó la recopilación de información desde diferentes fuentes, las cuales sirvieron como base fundamental para la contextualización de la situación de estudio a nivel internacional y nacional. Esto llevo a la caracterización del caso de estudio por medio del capítulo 2 de este documento, donde se pueden ver detalladamente los problemas ambientales generados por la minería y su impacto, lo cual llevo a definir los problemas a priorizar según la tabla 4.
- Durante el desarrollo de la investigación se consultó una serie de libros, tesis y artículos de investigación relacionados a la aplicación de técnicas multicriterio en casos similares, según se puede visualizar en el numeral 2.3 de este documento. Como resultado de esta investigación se logró determinar que efectivamente se tiene buena cantidad de aplicaciones a nivel ambiental, especialmente en métodos como AHP, PROMETHEE y ANP.  
Según el contexto del caso de estudio y dados los resultados de la identificación de la aplicación de técnicas multicriterio aplicadas a casos similares, se seleccionó como método apropiado el método multicriterio ANP, por su facilidad a la hora de crear marices de combinación binaria partiendo de una valoración otorgada por una serie de decisores.
- De acuerdo al desarrollo metodológico planteado en el capítulo 6 y según el método seleccionado, se ilustro de forma gráfica los datos obtenidos de la aplicación de la técnica multicriterio AHP, a través de la herramienta Super Decisions, y de igual forma se dio análisis a dichos resultados. Cada uno de los decisores apporto valiosa información para la aplicación de la metodología, en la cual permitió identificar la priorización de los problemas ambientales del caso de estudio, como se puede ver en el numeral 6.5 de este documento.
- El modelo multicriterio aplicado para el caso de estudio fue el (ANP), dando como resultado respuesta a la formulación del problema, generando una serie de resultados los cuales fueron discutidos en el numeral 6.6 de este documento. Lo que conlleva determinar la importancia de estos modelos a la hora de tomar decisiones basados en información valorativa, y reducir la incertidumbre al momento de basar el juicio de decisión. Haciendo de este caso de estudio y que según numeral 6.6 es una propuesta para futuras investigaciones en el campo del análisis de decisión basado en modelos multicriterio.

## **7.2. Recomendaciones**

- Se sugiere revisar más técnicas multicriterio que puedan ser aplicadas en futuras investigaciones relacionadas en casos similares, las cuales deben ser basadas en función de su utilidad, y que fueron enunciadas en el numeral 2.3 en su gran mayoría, estas nuevas técnicas podrían entregar nueva información sobre la aplicación para la mejora del proceso analítico.
- Se sugiere realizar investigaciones desde diferentes perspectivas a las planteadas en este documento, y que puedan ser correctamente aplicables a los modelos de decisión, a fin de enriquecer los resultados generados por nuevos aportes en diferentes investigaciones a nivel local, nacional e internacional.

## ANEXOS

Resultados de la valoración del decisor número uno, según datos Super Decisions.

DECISOR 1			
OBJETIVO	CON RESPECTO AL OBJETIVO		
	Inconsistency	0.00000	
	Name	Normalized	Idealized
	Fuentes de emision atmosferica	0.75	1.0
	Perdida de capa vegetal	0.25	0.3333333333333331
	CON RESPECTO AL OBJETIVO		
	Inconsistency	0.00000	
	Name	Normalized	Idealized
	Afectaciones en salubridad	0.8333333333333326	1.0
	Turismo	0.1666666666666671	0.20000000000000007
CRITERIOS AMBIENTALES	CON RESPECTO A FUENTES DE EMISION		
	Inconsistency	0.04324	
	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.16843555254002138	0.29547673792507473
	Contaminacion del aire	0.57004674453503779	1.0
	Contaminacion del suelo	0.074613632518130649	0.13089037562873854
	Deforestacion	0.18690407040681017	0.32787498954890032
	CON RESPECTO A PERDIDA CAPA VEGETAL		
	Inconsistency	0.04324	
	Name	Normalized	Idealized
CRITERIOS ECONOMICOS	CON RESPECTO A ORDENAMIENTO TERRITORIAL		
	Inconsistency	0.05787	
	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.3942770164343149	1.0
	Contaminacion del aire	0.095570291164618112	0.24239376677067803
	Contaminacion del suelo	0.22344181890721271	0.56671276689656425
	Deforestacion	0.28671087349385432	0.7271813003120341
	CON RESPECTO A AFECTACIONES EN SALUBRIDAD		
	Inconsistency	0.07017	
	Name	Normalized	Idealized
CRITERIOS SOCIALES	Contaminacion de fuentes hidricas	0.4439203581282386	1.0
	Contaminacion del aire	0.34136753735345027	0.76898374022044025
	Contaminacion del suelo	0.077866762860834215	0.17540705542127955
	Deforestacion	0.13684534165747678	0.30826552365040494
	CON RESPECTO AL TURISMO		
	Inconsistency	0.05787	
	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.28671087349385432	0.7271813003120341
	Contaminacion del aire	0.3942770164343149	1.0
	Contaminacion del suelo	0.095570291164618112	0.24239376677067803
	Deforestacion	0.22344181890721271	0.56671276689656425
SINTESIS DE TODO EL MODELO			
Name	Ideals	Normals	Raw
Contaminacion de fuentes hidricas	1.000.000	0.328349	0.164175
Contaminacion del aire	0.905483	0.297315	0.148657
Contaminacion del suelo	0.408435	0.134109	0.067055
Deforestacion	0.731618	0.240226	0.120113

Resultados de la valoración del decisor número dos, según datos Super Decisions.

DECISOR 2			
OBJETIVO	CON RESPECTO AL OBJETIVO		
	Inconsistency	0.00000	
	Name	Normalized	Idealized
	Fuentes de emision atmosferica	0.85714261224447819	1.0
	Perdida de capa vegetal	0.1428573877555219	0.1666670000006667
	CON RESPECTO AL OBJETIVO		
	Inconsistency	0.00000	
	Name	Normalized	Idealized
CRITERIOS AMBIENTALES	Afectaciones en salubridad	0.87500010937490424	1.0
	Turismo	0.1249998906250957	0.14285700000014287
	CON RESPECTO A FUENTES DE EMISION		
	Inconsistency	0.09008	
	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.45037556336848822	1.0
	Contaminacion del aire	0.35564391677664126	0.78966077581269789
	Contaminacion del suelo	0.13390376193525783	0.29731578004311143
	Deforestacion	0.060076757919612776	0.13339257900735432
	CON RESPECTO A PERDIDA CAPA VEGETAL		
	Inconsistency	0.04544	
	Name	Normalized	Idealized
CRITERIOS ECONOMICOS	Contaminacion de fuentes hidricas	0.23103069107730009	0.47140404938527858
	Contaminacion del aire	0.1155153455389431	0.23570202469323726
	Contaminacion del suelo	0.16336336832296081	0.33333299999910315
	Deforestacion	0.49009059506079611	1.0
	CON RESPECTO A ORDENAMIENTO TERRITORIAL		
	Inconsistency	0.05787	
CRITERIOS SOCIALES	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.3942770541154299	1.0
	Contaminacion del aire	0.095570204728032973	0.24239352437703238
	Contaminacion del suelo	0.22344184026163219	0.56671276689669237
	Deforestacion	0.28671090089490492	0.72718130031215678
	CON RESPECTO A AFECTACIONES EN SALUBRIDAD		
	Inconsistency	0.05075	
	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.67648893274665201	1.0
	Contaminacion del aire	0.10159635691867568	0.15018184629595996
	Contaminacion del suelo	0.078472712054289254	0.11599999387377653
	Deforestacion	0.14344199828038298	0.21203894304373289
	CON RESPECTO AL TURISMO		
	Inconsistency	0.05787	
	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.28671085139248603	0.72718124800143147
	Contaminacion del aire	0.39427701440387208	1.0
	Contaminacion del suelo	0.095570265869801524	0.24239370386401848
	Deforestacion	0.22344186833384044	0.56671289517516976
SINTESIS DE TODO EL MODELO			
Name	Ideals	Normals	Raw
Contaminacion de fuentes hidricas	1.000.000	0.480361	0.240181
Contaminacion del aire	0.385190	0.185030	0.092515
Contaminacion del suelo	0.306827	0.147388	0.073694
Deforestacion	0.389748	0.187220	0.093610



Resultados de la valoración del decisor número tres, según datos Super Decisions.

DECISOR 3			
OBJETIVO	CON RESPECTO AL OBJETIVO		
	Inconsistency	0.00000	
	Name	Normalized	Idealized
	Fuentes de emision atmosferica	0.8333333333333326	1.0
	Perdida de capa vegetal	0.1666666666666671	0.2000000000000007
	CON RESPECTO AL OBJETIVO		
	Inconsistency	0.00000	
	Name	Normalized	Idealized
CRITERIOS AMBIENTALES	Afectaciones en salubridad	0.8000000000000004	1.0
	Turismo	0.2000000000000001	0.25
	CON RESPECTO A FUENTES DE EMISION		
	Inconsistency	0.08544	
	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.29658292425240323	0.54071304169248091
	Contaminacion del aire	0.54850336756086326	1.0
	Contaminacion del suelo	0.10175773505749831	0.1855188884436649
	Deforestacion	0.053155973129235215	0.09691093304607086
	CON RESPECTO A PERDIDA CAPA VEGETAL		
	Inconsistency	0.04544	
	Name	Normalized	Idealized
CRITERIOS ECONOMICOS	Contaminacion de fuentes hidricas	0.23103069107730009	0.47140404938527858
	Contaminacion del aire	0.1155153455389431	0.23570202469323726
	Contaminacion del suelo	0.16336336832296081	0.33333299999910315
	Deforestacion	0.49009059506079611	1.0
	CON RESPECTO A ORDENAMIENTO TERRITORIAL		
	Inconsistency	0.04954	
CRITERIOS SOCIALES	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.41423150476362869	1.0
	Contaminacion del aire	0.1186476476230699	0.28642835288632462
	Contaminacion del suelo	0.30897944292266299	0.74591005118979237
	Deforestacion	0.1581414046906385	0.38177058691100313
	CON RESPECTO A AFECTACIONES EN SALUBRIDAD		
	Inconsistency	0.03580	
	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.44156508625193069	1.0
	Contaminacion del aire	0.3851700516733732	0.87228375536379743
	Contaminacion del suelo	0.1155589057474798	0.26170299542556857
	Deforestacion	0.057705956327216319	0.13068505215625845
	CON RESPECTO AL TURISMO		
	Inconsistency	0.05787	
	Name	Normalized	Idealized
	Contaminacion de fuentes hidricas	0.28671085139248603	0.72718124800143147
	Contaminacion del aire	0.39427701440387208	1.0
	Contaminacion del suelo	0.095570265869801524	0.24239370386401848
	Deforestacion	0.22344186833384044	0.56671289517516976
SINTESIS DE TODO EL MODELO			
Name	Ideals	Normals	Raw
Contaminacion de fuentes hidricas	1.000.000	0.370161	0.185081
Contaminacion del aire	0.884279	0.327326	0.163663
Contaminacion del suelo	0.479580	0.177522	0.088761
Deforestacion	0.337666	0.124991	0.062495

## BIBLIOGRAFIA

- 4 consecuencias de la minería a cielo abierto (hoy es el #DíaInternacionaldeAcciónContraLaMineríaaaCieloAbierto) | Ecoosfera. (2015). Retrieved from <http://ecoosfera.com/2015/07/4-consecuencias-de-la-mineria-a-cielo-abierto-hoy-es-el-diainternacionaldeaccioncontralamineriaacieloabierto/>
- Ayala, F., Vadillo, L., Lopez, C., Aramburu, P., Escribano, M., Escribano, R., ... Toledo, J. (1989). *Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería*.
- Barba-Romero, S. (1987). Panorámica actual de la decisión multicriterio discreta. *Investigaciones Económicas (Segunda Época)*, XI(2), 279–308.
- Bellver Aznar, J., & Martinez Guijarro, F. (2012). *Nuevos metodos de valoracion*. (Universitat politecnica de valencia, Ed.) (segunda ed). Valencia.
- Bojórquez-Tapia, L. A., Sánchez-Colon, S., & Martinez, A. F. (2005). Building consensus in environmental impact assessment through multicriteria modeling and sensitivity analysis. *Environmental Management*, 36(3), 469–481. <http://doi.org/10.1007/s00267-004-0127-5>
- Caballero, R., & Romero, C. (n.d.). Artículos de investigación operativa. teoria de la decision multicriterio, 9–15.
- Carrere, R. (2004). *Minería: Impactos sociales y ambientales*. Retrieved from <http://www.wrm.org.uy/oldsite/deforestacion/mineria/texto.pdf>
- Cementos Tequendama estaría afectando recursos hídricos en Boyacá, según la comunidad. (n.d.).
- Datta Asim, Ray Amita, Bhattacharya Gautham, & Saha Hiranmay. (2002). Green energy sources (GES) selection based on multi-criteria decision analysis (MCDA), 5(2 pp), 271–286. <http://doi.org/10.1108/17506221111146020>
- Decreto 1220 de 2005. (2005). Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=16316>
- Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario. (n.d.). Retrieved from <http://dle.rae.es/?id=2Vga9Gy>
- Duarte, A. (2009). Voluntarios de las Naciones Unidas: Impacto de la minería en el medio ambiente. Retrieved from <http://www.unv.org/es/current-highlight/voluntarios-por-nuestro-planeta/doc/impacto-de-la-mineria.html>
- Estrucplan Consultora S.A. (2003). Impactos Ambientales y Actividades Productivas - Cemento, Cal y Yeso. Retrieved from <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=258>
- Greenpeace. (n.d.). Bolsas Biodegradables. Retrieved September 22, 2016, from <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2009/11/bolsas-biodegradables.pdf>
- Grupo de Trabajo sobre Minería y Derechos Humanos en América Latina. (2008). El impacto de la minería canadiense en América Latina y la responsabilidad de Canadá, 40. Retrieved from

[http://www.dplf.org/sites/default/files/informe\\_canada\\_resumen\\_ejecutivo.pdf](http://www.dplf.org/sites/default/files/informe_canada_resumen_ejecutivo.pdf)

Guillermo, L., Guevara, G., Novoa, A. A., Coordinadora, S. J., Incidencia, D., Comunicación, Y., ... Yepes, G. A. (2012). MINERÍA, CONFLICTOS SOCIALES Y VIOLACIÓN A LOS DERECHOS HUMANOS EN COLOMBIA Informe Especial del CINEP/ Programa por la Paz DIRECTOR GENERAL.

Huang, I. B., Keisler, J., & Linkov, I. (2011). Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, 409(19), 3578–3594.  
<http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022>

Jácome-enríquez, W., Pachamama-méndez, R., & Gomez Navarro, T. (2014). ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF GRAZING IN PROTECTED NATURAL AREAS BY MEANS OF THE ANP : A CASE STUDY IN THE COTOPAXI NATIONAL PARK ( ECUADOR ). 2 . The use of ANP for the assessment of environmental problems.

Jacquet-Lagrèze, E., & Siskos, Y. (2001). Preference disaggregation: 20 Years of MCDA experience. *European Journal of Operational Research*, 130(2), 233–245.  
[http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00035-7](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00035-7)

Lahdelma, R., Salminen, P., & Hokkanen, J. (2000). Using multicriteria methods in environmental planning and management. *Environmental Management*, 26(6), 595–605. <http://doi.org/10.1007/s002670010118>

Londoño Calle, V. (2013). “Colombia no está preparada para la locomotora minera” | ELESPECTADOR.COM. Retrieved from  
<http://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/colombia-no-esta-preparada-locomotora-minera-articulo-420422>

MINISTERIO, M. Y. E. (2003). Glosario Técnico Minero, 168.

Noticias uno. (2014). Grave contaminación en Suesca, Cundinamarca | Noticias UNO, La Red Independiente. Retrieved from  
<http://noticiasunolaredindependiente.com/2014/11/30/secciones/que-tal-esto/grave-contaminacion-en-suesca-cundinamarca/>

Observatorio Latino Americano de Conflictos Ambientales (OLCA). (2005). Impacto de la minería en América Latina. Retrieved from  
<http://www.olca.cl/oca/prensa/aliadas01.htm>

ONGs protectoras del medio ambiente | MEDIO AMBIENTE Y TECNOLOGIA. (n.d.). Retrieved from <https://gaia3tierraviva.wordpress.com/ongs-protectoras-del-medio-ambiente/>

Romero-gelvez, J. I. (2016). In ° uence Analysis in Consensus Search | A Multi Criteria Group Decision Making Approach in Environmental Management, 15(4), 791–813.  
<http://doi.org/10.1142/S0219622016400034>

Sánchez, V. y Guiza, B. (1989). Glosario de términos sobre medio ambiente. *Unesco-Punma*. Retrieved from  
<http://unesdoc.unesco.org/images/0008/000855/085533sb.pdf>

Semana. (2015). Videos: La minería se volvió el terror de Suesca. Retrieved from  
<http://www.semana.com/nacion/multimedia/la-mineria-se-volvio-el-terror-de-suesca/421510-3>

- Sergio Barba-Romero;Pomerol. (1997). Decision Multicriterio.
- Silva Numa, S. (2014). La minería en Colombia y sus efectos - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com. Retrieved from <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13366835>
- Steele, K., Carmel, Y., Cross, J., & Wilcox, C. (2009). Uses and misuses of multicriteria decision analysis (MCDA) in environmental decision making. *Risk Analysis*, 29(1), 26–33. <http://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01130.x>
- Yatsalo, B. I., Kiker, G. a, Kim, S. J., Bridges, T. S., Seager, T. P., Gardner, K., ... Linkov, I. (2007). Application of multicriteria decision analysis tools to two contaminated sediment case studies. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(2), 223–233. [http://doi.org/10.1897/IEAM\\_2006-036.1](http://doi.org/10.1897/IEAM_2006-036.1)
- Zanazzi, J. L. (2003). Anomalías y supervivencia en el método de toma de decisiones de Saaty. *Problemas Del Conocimiento En Ingeniería Y Geología, Vol. I, I*, 148–170. Retrieved from [http://www.efn.unc.edu.ar/departamentos/estruct/lgodoy/Problemas Conocimiento/10\\_Zanazzi.pdf](http://www.efn.unc.edu.ar/departamentos/estruct/lgodoy/Problemas Conocimiento/10_Zanazzi.pdf)